

**TUGAS AKHIR - ME 184834**

**APLIKAS *SOLAR PANEL ROOF* SEBAGAI ALTERNATIF ENERGI  
*REEFER CONTAINER YARD* PT. TERMINAL PETIKEMAS  
SURABAYA.**

Nikolas Arta Kurnia Dekko  
NRP 04211640000054

Dosen Pembimbing  
Sutopo Purwono Fitri, S.T., M.Eng. Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2020









**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - ME 184834**

***APLIKAS SOLAR PANEL ROOF SEBAGAI ALTERNATIF  
ENERGI DI REEFER CONTAINER YARD PT. TERMINAL  
PETIKEMAS SURABAYA .***

Nikolas Arta Kurnia Dekko  
NRP 04211640000054

Dosen Pembimbing  
Sutopo Purwono Fitri, S.T., M.Eng., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
2020

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

**BACHELOR THESIS - ME 184834**

***APPLICATION OF SOLAR PANEL ROOF AS AN ALTERNATIVE  
METHOD AT REEFER CONTAINER YARD PT.TERMINAL  
PETIKEMAS SURABAYA.***

Nikolas Arta Kurnia Dekko  
NRP 04211640000054

Supervisor  
Sutopo Purwono Fitri, S.T., M.Eng., Ph.D.

DEPARTEMENT OF MARINE ENGINEERING  
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
2020

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



## **LEMBAR PENGESAHAN**

### ***APLIKASI SOLAR PANEL ROOF SEBAGAI ALTERNATIF ENERGI DI REEFER CONTAINER YARD PT.TERMINAL PETIKEMAS SURABAYA***

#### **TUGAS AKHIR**

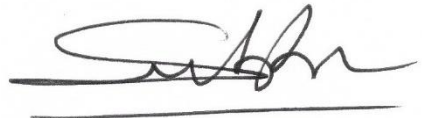
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi *Marine Machinery and System* (MMS)  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**Nikolas Arta Kurnia Dekko**  
NRP. 04211640000054

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

Sutopo Purwono Fitri, S.T., M.Eng., Ph.D.



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## LEMBAR PENGESAHAN

### APLIKASI SOLAR PANEL ROOF SEBAGAI ALTERNATIF ENERGI DI REEFER CONTAINER YARD PT. TERMINAL PETIKEMAS SURABAYA

#### TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada

Bidang Studi *Marine Machinery Fluid and System (MMS)*  
Program S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**Nikolas Arta Kurnia Dekko**  
**NRP 04211640000054**

Disetujui Oleh,  
Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan :



**Beny Cahyono, ST, MT, Ph.D.**  
**NIP 197903192008011008**

**SURABAYA**  
**AGUSTUS 2020**

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, yang telah memberikan rahmat dan berkat-Nya, sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **Aplikasi Solar Panel Roof Sebagai Alternatif Energi di Reefer Container Yard PT. Terminal Petikemas Surabaya**. Tugas Akhir ini sebagai salah satu persyaratan kelulusan program studi sarjana Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam proses pengerjaan Tugas Akhir dan keberhasilan menempuh program studi sarjana, tentu tidak lepas dari dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada pihak-pihak di bawah ini, karena telah membantu penulis sepanjang proses studi, yaitu :

1. Keluarga penulis, Bapak Enga Simeon, Ibu Sri Harjumi, Kakak Pius Aditya Kurnia Ray, dan Adik Angela Merici Kurnia Netter yang mendukung dan memberikan semangat kepada penulis setiap kegiatan dan aktivitas, serta selalu senantiasa memenuhi kebutuhan penulis selama masa perkuliahan.
2. Bapak Beny Cahyono, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen wali dan Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan yang telah banyak memberikan bimbingan dan pendidikan baik akademik maupun non akademik sehingga sebagai mahasiswa wali, kami dapat belajar banyak hal mengenai kedisiplinan
3. Bapak Sutopo Purwono Fitri, S.T., M. Eng., Ph.D. selaku dosen pembimbing pertama yang telah membimbing penulis dalam menyelesaikan penelitian Tugas Akhir, memberikan motivasi, dan memberikan ilmu serta pesan moral selama proses pengerjaan, sehingga penulis tidak menyerah selama mengerjakan Tugas Akhir.
4. Seluruh dosen, tenaga kependidikan serta manajemen Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK – ITS.
5. Keluarga Binatang KMK 18-19 yaitu: Gregih, Tesa, There, Devia, Nais, Danang, Noel, Linda, CeTe, Sam, Saras, Marcel, Bagas, Valen, Veda, Kevin dan Jen yang selalu memberikan keceriaan dan pengalaman baru bagi penulis dalam kehidupan studi di kampus termasuk saat rapat di sekre dan posto serta mengerjakan Tugas Akhir bersama di Janjiw.
6. Seluruh teman-teman satu angkatan Voyage'16 yang namanya tidak dapat disebutkan satu persatu, yang terus mendukung penulis agar terus fokus dan dapat memecahkan semua masalah yang dihadapi selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
7. Teman seperjuangan kampus penulis, yaitu Icon dan Arvin, yang terus memberikan semangat dan kebahagiaan bagi penulis dalam sepanjang proses studi penulis di Departemen Teknik Sistem Perkapalan.
8. Keluarga kepengurusan KMK Persevera 18-19 yang terus membantu penulis berkembang, dan memberikan rasa kekeluargaan selama masa perkuliahan.
9. Keluarga kepengurusan KMK Inisiator 17-18 terutama Mas Andryan, Mas Alfons, Mas Mothy yang terus membimbing penulis selama masa perkuliahan sehingga menjadikan penulis manusia yang kuat, percaya diri dan berwawasan luas.

10. Seluruh anggota Keluarga Mahasiswa Katolik dari seluruh angkatan yang telah membantu penulis dalam masa studi dan mempersiapkan diri dengan segala *softskill* yang dibutuhkan di kehidupan pasca kampus.
11. Teman satu bimbingan Tugas Akhir Pak Topo yang selalu membantu, memberi semangat, dan keceriaan selama pengerjaan Tugas.
12. Seluruh kakak tingkat Mercusuar'14 dan Salvage'15 yang telah memberikan teladan dan bagian dari pengalaman penulis dalam belajar menjadi mahasiswa dan anggota yang baik di lingkungan HIMASISKAL FTK-ITS.
13. Kepada pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu, terima kasih atas segala bantuan dan dukungan yang telah diberikan kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa penelitian yang dilakukan dalam tugas akhir ini jauh dari sebuah kesempurnaan, oleh karenanya kritik dan saran sangat terbuka untuk menjadikan karya yang lebih baik dan memberikan kebermanfaatan. Penulis berharap bahwa karya tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan bagi seluruh pembaca di kemudian hari.

Surabaya, 20 Juli 2020

**Aplikasi Solar Panel Roof Sebagai Alternatif Energi Di Reefer Container Yard PT. Terminal Petikemas Surabaya.**

**Nama Mahasiswa** : Nikolas Arta Kurnia Dekko  
**NRP** : 04211640000054  
**Departemen** : Teknik Sistem Perkapalan ITS  
**Dosen Pembimbing 1** : Sutopo Purwono Fitri, S.T., M.Eng., Ph.D.

**ABSTRAK**

Pelabuhan memiliki peran penting dalam *supply chain* yaitu sebagai *transport*. *Reefer container* yang telah diangkut dari kapal, ditumpuk dilahan penumpukan terbuka untuk menunggu proses selanjutnya (pengecekan Beacukai ataupun pengiriman). Lahan penumpukan yang terbuka memungkinkan *reefer container* terpapar sinar matahari secara langsung dan menyebabkan kenaikan suhu pada *reefer container*, sehingga energi yang dibutuhkan untuk mendinginkan menjadi lebih besar untuk tetap menjaga suhu dalam *reefer container* tetap terjaga guna kualitas produk yang lebih baik. Selain itu, sinar matahari yang jatuh secara langsung ke *reefer container* memiliki energi yang dapat dimanfaatkan sebagai alternatif energi untuk menunjang energi listrik di pelabuhan yang sebagian besar dikonsumsi oleh *reefer container*.

Pada tugas akhir ini penulis merencanakan *solar panel roof* sebagai sumber alternatif energi listrik untuk *reefer container* dan sebagai upaya penghematan energi dengan fungsi roof tersebut untuk menghalangi sinar matahari secara langsung. Dengan pemanfaatan 4480 pcs modul solar dengan sistem *hybrid* pada *solar panel roof*, energi yang dihasilkan sebesar 2610,807 MWh atau penghematan sebesar Rp. 3.276.563.067. Sistem solar panel ini memiliki performance ratio sebesar 88,5%. Sebesar 1970 tCO<sub>2</sub> berkurang dengan pemanfaatan 4480 pcs modul solar atau sebesar 846.496,6 liter bensin yang tidak dikonsumsi. Pengaplikasian *solar panel roof* mengakibatkan 32,60% energi *reefer container* dapat dihemat. Pada analisa ekonomi yang dilakukan didapatkan *Payback periode* selama 8,8 tahun, IRR sesudah pajak ekuitas sebesar 15% dan IRR sesudah pajak asset sebesar 5,8, MIRR sesudah pajak ekuitas sebesar 11,8% dan MIRR sesudah pajak asset sebesar 7,2%, B-C Ratio sebesar 1,5 dan NPV sebesar Rp. 6.051.836.951 sehingga proyek ini dapat dikatakan layak untuk dijalankan.

Kata kunci: *reefer container*, *solar panel* dan energi alternatif



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **Application of Solar Panel Roof as an Alternative Method at Reefer Container Yard PT. Terminal Petikemas Surabaya.**

**Name of Student** : Nikolas Arta Kurnia Dekko  
**NRP** : 04211640000054  
**Department** : Marine Engineering  
**Supervisor 1** : Sutopo Purwono Fitri, S.T., M.Eng., Ph.D.

### **ABSTRACT**

Ports have an important role in the supply chain as transportation. Reefer container that has been moved from the ship, were stacked in an open space or Container Yard to wait for the next processes (customs checking or shipping). Open Container Yard allows reefer containers to be exposed to direct sunlight and it'll increase the temperature inside the reefer container and the energy needed would be greater to keep the temperature in the reefer container maintained for a better quality product. In addition, sunlight released directly into the reefer container has the energy that can be used as alternative energy to support electrical energy in the port which is mostly consumed by the reefer container.

In this thesis, the author design solar panel roof that blocks direct sunlight to reefer container. In the utilization of 4480 pcs solar modules with hybrid systems on the solar panel roof, the energy produced is 2610,807 MWh or saving of Rp. 3,276,563,067. This solar panel system has a performance ratio about 88.5%. 1970 tCO<sub>2</sub> was reduced or 846,496.6 liters of gasoline that were not consumed by the utilization of 4480 pcs solar modules. With the application of a solar panel roof, energy can be saved by 32.60% at 1 reefer container. In the economic analysis, obtained a payback period is 8.8 years, MIRR after equity tax is 11.8% and MIRR after asset tax is 7.2%, the B-C ratio is 1.5, and NPV is Rp. 6.051.836.951 so that this project can be approved to implement.

**Keywords:** Reefer Container, Solar Panel and Renewable Energy

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	v
LEMBAR PENGESAHAN.....	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
Abstrak .....	viii
Abstract .....	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR .....	xvi
DAFTAR TABEL .....	xviii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xx
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan Penelitian.....	2
1.5. Manfaat Penelitian.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1 Definisi <i>Reefer Container</i> .....	3
2.1.1. Definisi <i>Reefer Cargo</i> .....	3
2.1.2. Bagian-bagian dari <i>reefer container</i> .....	3
2.1.3. Prinsip Kerja <i>reefer container</i> .....	5
2.2 Reefer Container di Pelabuhan.....	7
2.2.1. Mobilisasi Reefer Container di Pelabuhan .....	7
2.2.2. Energi Management Pelabuhan dan Terminal .....	8
2.3 Definisi Solar Panel.....	10
2.4 Solar Panel Orientation and Tilt.....	15
2.4.1. Radiasi Matahari pada Sudut Permukaan Miring.....	16
2.4.2. Radiasi Langsung .....	17
2.4.3. Radiasi Tersebar .....	17
2.4.4. Radiasi Pantulan .....	18
2.5 Energi Solar Panel .....	18
2.6 Analisa Kelayakan Ekonomi .....	19
2.7 <i>RETScreen</i> .....	20

BAB III METODE PENELITIAN .....	21
3.1. Identifikasi Masalah .....	22
3.2. Studi Literatur.....	22
3.3. Pengumpulan Data .....	23
3.4. Perencanaan <i>Solar panel roof</i> .....	23
3.5. Perencanaan Solar Panel pada <i>Solar panel roof</i> .....	23
3.6. Analisa Struktur Sederhana .....	23
3.7. Perhitungan Keluaran Energi dari Aplikasi Solar Panel .....	23
3.8. Analisa Penghematan Energi dan Pemanfaatan Energi.....	23
3.9. Design atau Layout <i>Solar Roof Panel</i> .....	24
3.10. Analisa Ekonomi .....	25
3.11. Kesimpulan dan Saran.....	25
BAB IV ANALISA DATA .....	27
4.1 Deskripsi Umum.....	27
4.2 Data PT. Terminal Petikemas Surabaya.....	27
4.2.1. Data <i>Reefer Container Yard</i> .....	27
4.2.2. Konsumsi Energi dalam 1 Tahun PT. Terminal Petikemas Surabaya.....	28
4.2.3. Volume <i>Reefer Container</i> .....	28
4.2.4. Spesifikasi Utama <i>Reefer Container</i> .....	29
4.2.5. Data solar saat pengambilan langsung .....	29
4.3 Konsumsi Energi Reefer Container Yard.....	29
4.4 Simulasi Energi .....	31
4.5.1. Menentukan Lokasi .....	31
4.5.2. Analisa Energi .....	33
4.5.3. Instalasi Sistem Solar Panel .....	39
4.5.4. Energi Management .....	40
4.5.5. Performance Ratio.....	48
4.5.6. Diagram Skema Sistem Solar Panel.....	49
4.5.7. Komponen Pendukung Sistem Solar Panel .....	49
4.5.8. Analisa Emisi .....	56
4.5 <i>Design Solar Panel Roof</i> .....	58
4.6 Penghematan Akibat <i>Solar Panel Roof</i> .....	60
4.7 Analisa Struktur Sederhana .....	61

4.7.1. Perencanaan Gording .....	61
4.7.2. Perencanaan Regel Memanjang .....	65
4.7.3. Perencanaan Trekstang.....	68
4.7.4. Perencanaan Ikatan Atap .....	69
4.7.5. Pengecekan Kolom.....	70
4.8 Analisa Ekonomi .....	72
4.8.1. Analisa Biaya .....	72
4.8.2. Analisa Kelayakan Ekonomi .....	76
4.9 Layout Terminal Petikemas Surabaya.....	81
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....	85
5.1 Kesimpulan.....	85
5.2 Saran.....	85
DAFTAR PUSTAKA.....	87
LAMPIRAN .....	89
BIODATA PENULIS.....	119

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 World Container Port Throughput.....	1
Gambar 2. 1 Dislokasi <i>reefer container</i> di area pelabuhan .....	7
Gambar 2. 2 Alur Pergerakan Container di Pelabuhan .....	8
Gambar 2. 3 Distribusi konsumsi energi total di terminal.....	9
Gambar 2. 4 Konsumsi energi dari perbedaan perlakuan.....	10
Gambar 2. 5 Konsumsi energi dari perbedaan container.....	10
Gambar 2. 6 Solar Panel.....	11
Gambar 2. 7 Solar Panel.....	12
Gambar 2. 8 <i>Monocrystalline</i> .....	12
Gambar 2. 9 <i>On-Grid System</i> .....	14
Gambar 2. 10 <i>Off-Grid System</i> .....	14
Gambar 2. 11 <i>Hybrid System</i> .....	15
Gambar 2. 12 Interaksi Radiasi Terhadap Permukaan Bumi .....	15
Gambar 2. 13 Hubungan Skematik Sudut Terhadap Permukaan Miring .....	17
Gambar 2. 14 Gambar RETScreen.....	20
Gambar 3. 1 <i>Flowchart</i> tugas akhir.....	21
Gambar 3. 2 <i>Flowchart</i> tugas akhir (2) .....	22
Gambar 3. 3 <i>Work flow RETScreen energi</i> .....	24
Gambar 3. 4 <i>Work flow RETScreen analisa ekonomi</i> .....	25
Gambar 4. 1 Layout PT. Terminal Petikemas .....	27
Gambar 4. 2 Menentukan Lokasi Penelitian .....	32
Gambar 4. 3 Beberapa data pendukung dari NASA dan Tanah.....	32
Gambar 4. 4 Grafik Data Iklim .....	33
Gambar 4. 5 Lembar Kerja Analisa Energi RETScreen.....	34
Gambar 4. 6 Parameter performa Solar Panel Sistem .....	34
Gambar 4. 7 Program Pergerakan Matahari Surabaya .....	35
Gambar 4. 8 Biaya Listrik .....	35
Gambar 4. 9 Efisiensi Modul Solar.....	36
Gambar 4. 10 Spesifikasi Modul Grape Solar.....	36
Gambar 4. 11 Dimensi CY Blok B.....	37
Gambar 4. 12 Spesifikasi Teknis Solar Inverter.....	38
Gambar 4. 13 Analisa Energi RETScreen.....	39
Gambar 4. 14 Distribusi Konsumsi Energi Listrik.....	41
Gambar 4. 15 Grafik Load Sceme Kondisi <i>Low Number Container</i> (LC).....	44
Gambar 4. 16 Grafik Power Scheme Kondisi <i>Low Number Container</i> (LC).....	45
Gambar 4. 17 Grafik Load Sceme Kondisi Normal Number Container (NC) .....	46
Gambar 4. 18 Grafik Power Scheme Kondisi Normal Number Container (NC) .....	47
Gambar 4. 19 Grafik Load Sceme Kondisi Full Number Container (FC) .....	47
Gambar 4. 20 Grafik Power Scheme Kondisi Full Number Container (FC) .....	48
Gambar 4. 21 Diagram Skema Sistem Solar Panel .....	49



Gambar 4. 22 Spesifikasi Teknis Solar Charge Controller .....	50
Gambar 4. 23 <i>Circuit Breaker</i> untuk PLN.....	54
Gambar 4. 24 <i>Circuit Breaker</i> untuk Beban.....	55
Gambar 4. 25 <i>Circuit Breaker</i> untuk <i>Inverter</i> .....	56
Gambar 4. 26 Lembar Kerja Analisa Emisi RETScreen .....	57
Gambar 4. 27 Kerugian Transmisi dan Distribusi.....	57
Gambar 4. 28 Analisa Emisi RETScreen .....	58
Gambar 4. 29 <i>Solar Panel Roof</i> Tampak Depan .....	59
Gambar 4. 30 <i>Solar Panel Roof</i> Tampak Belakang .....	59
Gambar 4. 31 <i>Solar Panel Roof</i> Tampak Samping .....	60
Gambar 4. 32 <i>Solar Panel Roof</i> Tampak Atas .....	60
Gambar 4. 33 Pengaku Lateral Gording .....	64
Gambar 4. 34 Lembar Kerja Analisa Kelayakan Ekonomi .....	76
Gambar 4. 35 Lembar Kerja Parameter Finansial .....	76
Gambar 4. 36 Tingkat Inflasi .....	77
Gambar 4. 37 Parameter Financial .....	77
Gambar 4. 38 Pendapatan Tahunan.....	78
Gambar 4. 39 Biaya Simpanan Pendapatan .....	78
Gambar 4. 40 Kelayakan Keuangan.....	79
Gambar 4. 41 Arus kas Tahunan .....	80
Gambar 4. 42 Grafik Arus Las Kumulatif.....	81
Gambar 4. 43 Lokasi PT. Teriminal Petikemas Surabaya.....	81
Gambar 4. 44 Lokasi Blok Reefer Container B, C, D, dan E.....	82
Gambar 4. 45 Layout Keseluruhan Tampak Samping .....	82
Gambar 4. 46 Layout Keseluruhan Tampak Atas .....	83
Gambar 4. 47 Layout Solar Panel Roof Tampak Samping .....	83
Gambar 4. 48 Distribusi Panel Listrik, Inverter dan Baterai .....	84

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Nilai n.....	16
Tabel 4. 1 Data Konsumsi Energi dalam 1 Tahun dalam juta.....	28
Tabel 4. 2 Volume <i>Reefer Container</i> .....	28
Tabel 4. 3 Spesifikasi Reefer Container .....	29
Tabel 4. 4 Konsumsi Energi <i>Reefer Container</i> Setiap Blok.....	31
Tabel 4. 5 Rugi-rugi lainnya.....	37
Tabel 4. 6 Cooling Plug-in Consumption.....	41
Tabel 4. 7 Konsumsi Energi Beban Lain.....	41
Tabel 4. 8 Manajemen Energi Solar Panel <i>On-Grid</i> di <i>Reefer Container</i> CY .....	41
Tabel 4. 9 Manajemen Energi Solar Panel <i>Hybrid</i> di <i>Reefer Container</i> CY.....	42
Tabel 4. 10 Manajemen Energi Solar Panel <i>Off-Grid</i> di <i>Reefer Container</i> CY .....	43
Tabel 4. 11 <i>Capability of Conductivity Electrical Cables</i> .....	51
Tabel 4. 12 Hambatan pada kabel. ....	53
Tabel 4. 13 Parameter dan Dimensi <i>Solar Panel Roof</i> .....	58
Tabel 4. 14 Penghematan Energi.....	61
Tabel 4. 15 Biaya Pengadaan Komponen PLTS .....	72
Tabel 4. 16 Rincian Tarif Impor Dari USA.....	73
Tabel 4. 17 Rincian Tarif Impor Dari China .....	73
Tabel 4. 18 Rincian Tarif Impor Dari Thailand .....	73
Tabel 4. 19 Keseluruhan Biaya PLTS .....	74
Tabel 4. 20 Keseluruhan Biaya <i>Solar Panel Roof</i> .....	75

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

**DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1 Layout Terminal Petikemas Surabaya .....	89
Lampiran 2 Spesifikasi Daikin Reefer Container.....	89
Lampiran 3 Dimensi Crane .....	91
Lampiran 4 Penghematan Roof .....	92
Lampiran 5 Spesifikasi Inverter .....	113
Lampiran 6 Waranty Moudl Surya.....	114
Lampiran 7 Spesifikasi Baterai .....	115
Lampiran 9 Spesifikasi Baterai .....	115
Lampiran 9 Circuit Breaker Schneider.....	116
Lampiran 10 Rincian Biaya Solar Panel Roof .....	117

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

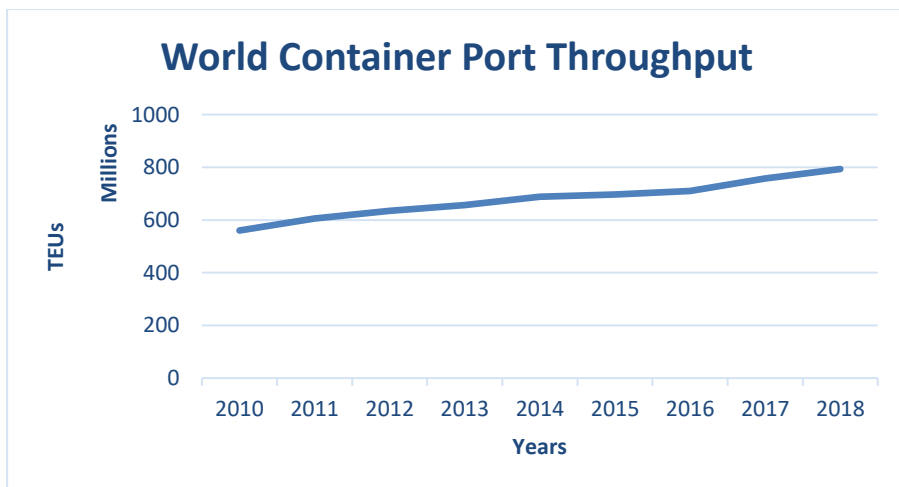


## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Pelabuhan merupakan tempat yang terdiri dari daratan dan perairan dengan batas-batas tertentu, di mana berlangsung kegiatan pemerintahan dan kegiatan ekonomi. Kegiatan-kegiatan menyangkut kapal-kapal yang bersandar, berlabuh, naik turun penumpang, bongkar muat barang, fasilitas keselamatan pelayaran, serta sebagai tempat perpindahan intra dan antarmoda transportasi (Pasal 1 UU No. 21, 1992). Pelabuhan menjadi sangat penting dalam kehidupan ekonomi, pemerintahan, sosial, kemandirian dan lainnya bagi Indonesia yang memiliki banyak kepulauan dan letak geografis pada persilangan jalur perdagangan internasional. Seperti yang sudah ditegaskan oleh Komite Ekonomi dan Industri Nasional (KEIN) tahun 2016 lalu tentang pentingnya pelabuhan untuk mendukung industri dan perekonomian.

Perdagangan peti kemas tumbuh dari tahun ke tahun dengan volume yang cukup besar. Pada tahun 2017, 758 juta TEUs dengan peningkatan 6% dari tahun 2016 telah ditangani di pelabuhan di seluruh dunia dengan peningkatan tertinggi selama 5 tahun terakhir. Dan Indonesia menyumbang 12,7 juta TEUs atau sekitar 1,67% dari total diseluruh dunia (UNCTAD,2019). Menurut proyeksi UNCTAD, perdagangan global maritim akan meningkat 2,6% pada tahun 2019 dan akan terus meningkat pada tingkat pertumbuhan gabungan dengan nilai 3,4% selama periode 2019-2024 (UNCTAD,2019).



Gambar 1. 1 World Container Port Throughput  
(Sumber: UNCTAD, 2019)

Peningkatan perdagangan peti kemas yang kuat dari tahun ke tahun akan mendorong pemerintah untuk mengembangkan infrastruktur dan fasilitas pelabuhan agar tercapai kinerja pelabuhan yang diinginkan. Pemanfaatan peralatan peti kemas, manajemen operasi pelabuhan, efisiensi beacukai, dan lainnya. Pengembangan infrastruktur pelabuhan dapat dicapai dengan meningkatkan penambahan jumlah crane dan perluasan lahan penumpukan. Sebagai akibat pengembangan infrastruktur dan fasilitas pelabuhan, ada pertambahan konsumsi energi yang besar dan dampak

lingkungan yang mengikuti. Untuk peti kemas kering mengonsumsi energi per unit peti kemas sebesar 8,6 liter diesel dan untuk peti kemas berpendingin (reefer container) sebesar 160 kWh pada tahun 2013. Setiap peti kemas yang bergerak di pelabuhan menghasilkan emisi CO<sub>2</sub> sebesar 29,8 kg pada tahun 2013 (UN ECLAC, 2015).

Jumlah konsumsi bahan bakar pada pelabuhan dipengaruhi oleh peralatan mesin infrastruktur pelabuhan untuk menangani pergerakan peti kemas seperti alat bongkar muat dan truk pengangkut. Bahan bakar ini merupakan penyumbang emisi CO<sub>2</sub> dan berkontribusi langsung pada dampak lingkungan. Dalam sidang International Marine Organization (IMO) dan Marine Environmental Protection Committee (MEPC) menegaskan pengurangi emisi CO<sub>2</sub> harus menuju nol emisi sehingga banyak peralatan di pelabuhan mulai dikonversi menjadi listrik / elektrifikasi.

Jumlah konsumsi listrik pada pelabuhan dipengaruhi oleh peralatan infrastruktur dengan sumber listrik pelabuhan. Konsumsi listrik di pelabuhan dibagi menjadi halaman penyimpanan peti kemas, alat bongkar muat, penerangan terminal dan kantor. Pada pemetaan konsumsi listrik menerangkan bahwa pelabuhan peti kemas dengan kapasitas 900.000 TEUs mengonsumsi total listrik 1MW dalam setahun dengan 51% kontribusi berasal dari halaman penyimpanan peti kemas, 26% berasal dari alat bongkar muat dan sisanya berasal dari penerangan terminal dan kantor (Greencranes, 2013). Walaupun listrik tidak memberikan dampak langsung terhadap lingkungan pelabuhan, namun pembangkit listrik menghasilkan emisi CO<sub>2</sub>

Sehingga pada tugas akhir ini akan dimanfaatkan solar panel pada pengaplikasian atap pada lahan penumpukan peti kemas berpendingin atau reefer container yang bertujuan untuk membantu memenuhi kebutuhan listrik pelabuhan terutama pada peti kemas berpendingin tanpa menghasilkan emisi CO<sub>2</sub>.

## **1.2. Perumusan Masalah**

1. Bagaimana desain *solar panel roof* untuk pengaplikasian *reefer container yard*?
2. Bagaimana analisa pemanfaatan energi alternatif pada pengaplikasian *solar panel roof*?
3. Bagaimana analisa ekonomi dari pengaplikasian *solar panel roof*?

## **1.3. Batasan Masalah**

1. Penelitian hanya dilakukan pada lahan penumpukan *reefer container* PT. Terminal Petikemas Surabaya.

## **1.4. Tujuan Penelitian**

1. Merancang *solar panel roof* dilahan *reefer container yard*.
2. Mengetahui produksi energi dari pemanfaatan *solar panel roof* dilahan depo *reefer container* sebagai upaya pemanfaatan energi terbarukan.
3. Mengetahui analisa ekonomi dari pengaplikasian *solar panel roof*.

## **1.5. Manfaat Penelitian**

1. Memberikan manfaat kontribusi terhadap iptek.
2. Memberikan rekomendasi-rekomendasi kepada otoritas pelabuhan untuk menggunakan desain *solar panel roof* di *reefer container yard*.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Definisi *Reefer Container*

*Reefer Container* merupakan salah satu jenis peti kemas yang dilengkapi dengan sistem pendingin atau refrigeration system tertutup. *Reefer container* menjaga dan mengatur suhu didalam ruangan peti kemas tetap terjaga sehingga barang atau komoditi tidak rusak.



Gambar 2.1 Proses terbentuknya bantalan udara  
(Sumber: <http://berta.co.id>)

##### 2.1.1. Definisi *Reefer Cargo*

*Reefer Cargo* merupakan komoditi peti kemas yang membutuhkan penanganan khusus dalam masalah penyimpanan terkait suhu udara atau membutuhkan proses pendinginan. *Reefer cargo* terbagi menjadi 3 yaitu; *Frozen cargo*, *Chilled cargo*, dan *Temperated regulated cargo*.

###### a. *Frozen Cargo*

*Frozen cargo* merupakan komoditi yang diangkut dalam kondisi beku. Komoditi yang memerlukan pembekuan seperti daging dan ikan. Komoditi frozen cargo didinginkan hingga suhu  $-26^{\circ}\text{C}$  (Rowbotham, 2014).

###### b. *Chilled Cargo*

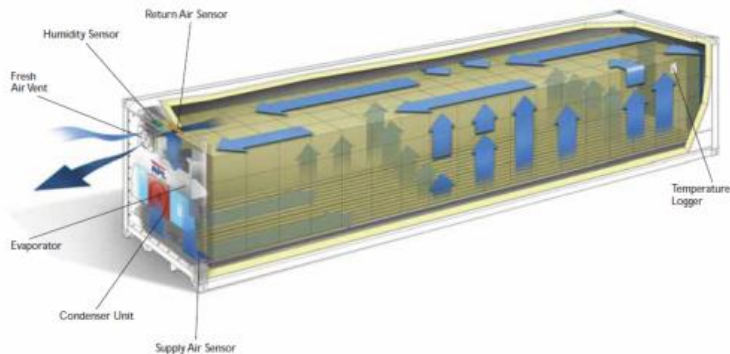
*Chilled cargo* merupakan komoditi yang diangkut harus dengan segera didinginkan. Komoditi yang memerlukan pendinginan dengan segera seperti produk *diary* (susu dan keju). *Diary* produk dipindahkan pada suhu rendah dan diatas titik beku untuk mencegah pembusukan (Rowbotham, 2014).

###### c. *Temperated Regulated Cargo*

*Temperated regulated cargo* merupakan komoditi buah-buahan yang diangkut setengah matang dan pematangan terjadi didalam reefer container dengan suhu yang tetap terjaga (Rowbotham, 2014).

##### 2.1.2. Bagian-bagian dari *reefer container*

Sebuah *reefer container* mempunyai beberapa bagian utama untuk mendukung prosesnya, yaitu sebagai berikut



Gambar 2.2 Bagian-bagian *reefer container*  
(Sumber: <http://apl.com>)

a) *Container*

Container adalah kemasan yang dirancang secara khusus yang digunakan untuk menyimpan sekaligus mengangkut muatan yang ada didalamnya. Container memiliki beberapa ukuran standar yang telah ditetapkan oleh ISO (*International Standard Organization*) yaitu, 20' *muffler grade stainless steel reefer*, 40' *high cube muffler grade stainless steel reefer*, dan 40' *high cube aluminium reefer*.

b) *Refrigeration Plan*

*Refrigeration plan* adalah bagian dari *reefer container* yang berfungsi untuk menjaga kesegaran produk yang diangkut dengan mengatur suhu udara sesuai dengan persyaratan suhu yang dibutuhkan oleh komoditi yang diangkut. Sistem pendingin pada *reefer container* dibuat khusus agar dapat dipasang pada container.

Pada *refrigeration plan* terdapat beberapa komponen untuk mengatur suhu udara seperti; *compressor*, *condenser*, *evaporator*, *control box*, dan *fresh air vent*. Sistem pendingin harus mampu menangani mode operasi *reefer cargo* seperti *chilled* dan *frozen*. Pada mode operasi *chilled* sistem pendingin harus mampu mengatur suhu udara antara +30°C hingga -3°C, sedangkan mode operasi *frozen* sistem pendingin harus mampu mengatur suhu udara antara -10°C hingga -30°C.

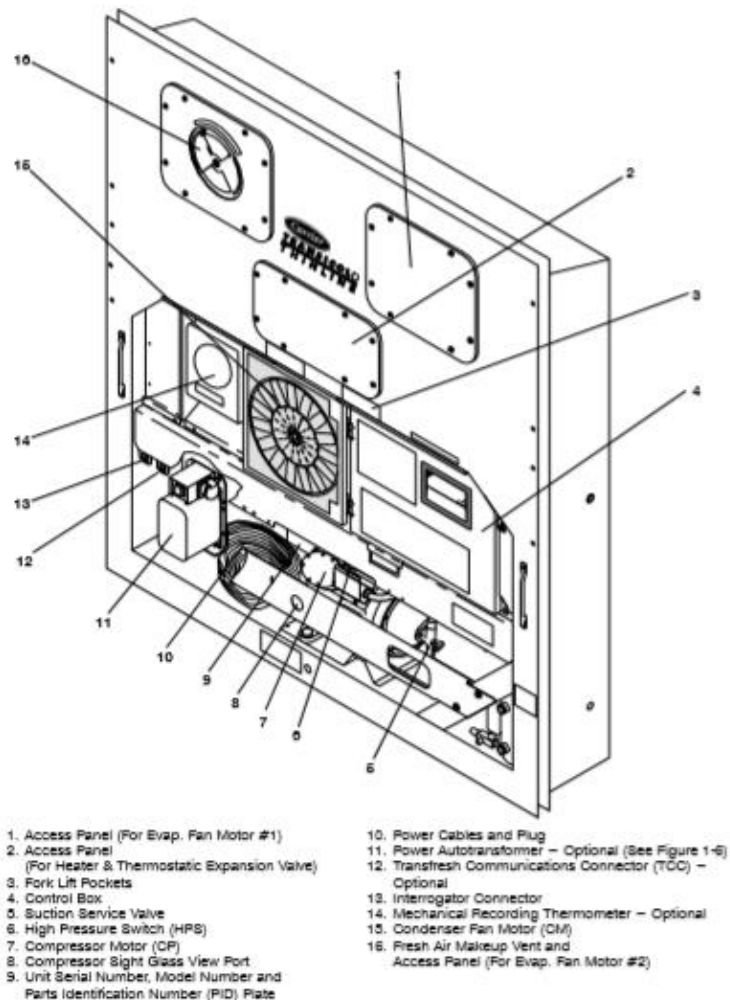
*Refrigeration plan* menggunakan sumber daya AC 3 fasa yang mengandalkan sumber daya eksternal seperti generator ketika *reefer container* ditempatkan diatas kapal dan jaringan listrik pelabuhan ketika *reefer container* berada dilahan penumpukan pelabuhan.

c) *Humidity Sensor*

*Humidity sensor* adalah perangkat elektronik yang digunakan untuk mengukur kelembapan, aliran udara dan tingkat suhu suatu ruangan. Selain itu alat ini juga dapat menentukan apakah suatu zat layak untuk digunakan dalam suatu lingkungan tertentu.

d) *Temperature Logger*

*Temperature logger* adalah perangkat elektronik yang digunakan untuk mengukur dan mencatat suhu secara *continue*. Alat ini dipasang agar dapat memantau suhu udara yang ada didalam *reefer container* sehingga suhu udara tetap terpantau dan terjaga.

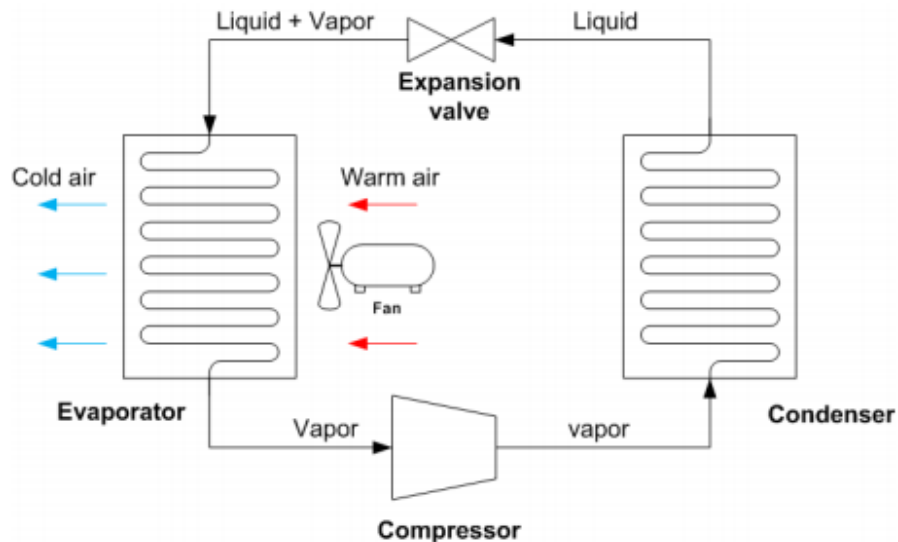


Gambar 2.3 *Refrigeration Plan*  
 (Sumber: container refrigeration unit operating and manual service)

2.1.3. Prinsip Kerja *reefer container*.

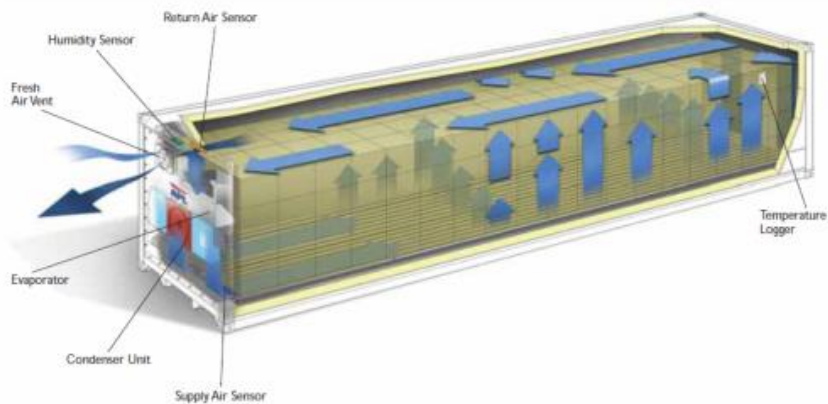
Refrigerator bekerja sama seperti *air conditioner*. Kompresor memompa refrigrant ke sistem. Sebelum memasuki kompresor, refrigrant merupakan gas yang memiliki tekanan rendah, kompresor mengubah gas menjadi bertekanan tinggi, karena tekanan tinggi tersebut gas menjadi panas dan mengalir menuju kondensor. Dikondensor gas bertekanan dan bersuhu tinggi melepaskan panasnya ke udara luar dan menjadi cairan

bertekanan tinggi dengan suhu rendah. Selanjutnya cairan bertekanan tinggi melewati katup ekspansi sehingga tekanan berkurang sehingga suhu menjadi dibawah suhu ruangan. Proses ini menghasilkan cairan refrigerant bertekanan rendah. Refrigerant bertekanan rendah mengalir ke evaporator dan menyerap panas dari udara didalam ruangan melalui penguapan dan menjadi gas bertekanan rendah. Gas mengalir lagi ke kompresor.



Gambar 2.4 Prinsip kerja refrigerator.  
(Sumber: Budiyanto, 2016)

Udara yang telah melewati evaporator dan menjadi dingin mengalir melalui kisi-kisi yang ada dibagian bawah container, umumnya lantai container berbentuk T-bar (*T-Floor*). Kemudian udara dingin mengalir melalui komoditi yang dimuat hingga pada akhirnya sampai bagian atas container dan udara yang suhunya sudah meningkat mengalir kembali menuju evaporator untuk didinginkan kembali.



Gambar 2.5 Prinsip Kerja reefer container  
(Sumber: <http://apl.com>)

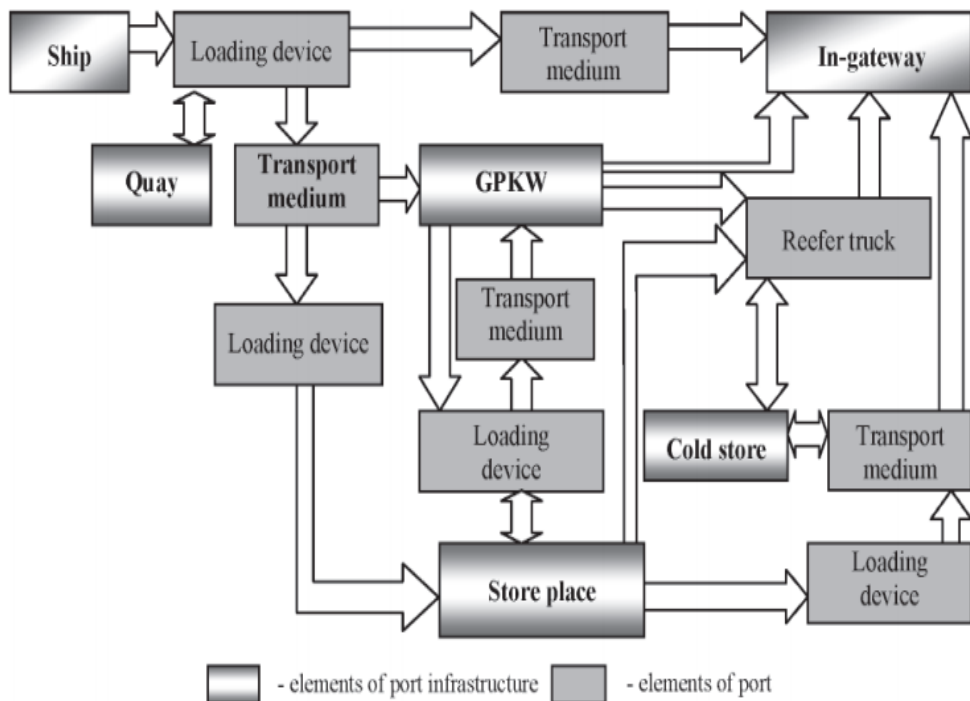
## 2.2 Reefer Container di Pelabuhan

Pelabuhan memiliki peran penting dalam *supply chain* yaitu sebagai *transport*. Kenaikan standar kualitas hidup meningkatkan konsumsi produk makanan yang sehat namun tidak tahan lama. Kebanyakan dari produk makanan tersebut di transportasi dengan menggunakan *reefer container* dari berbagai negara. *Reefer container* menyumbang 7-15% dari total container yang ditangani pelabuhan.

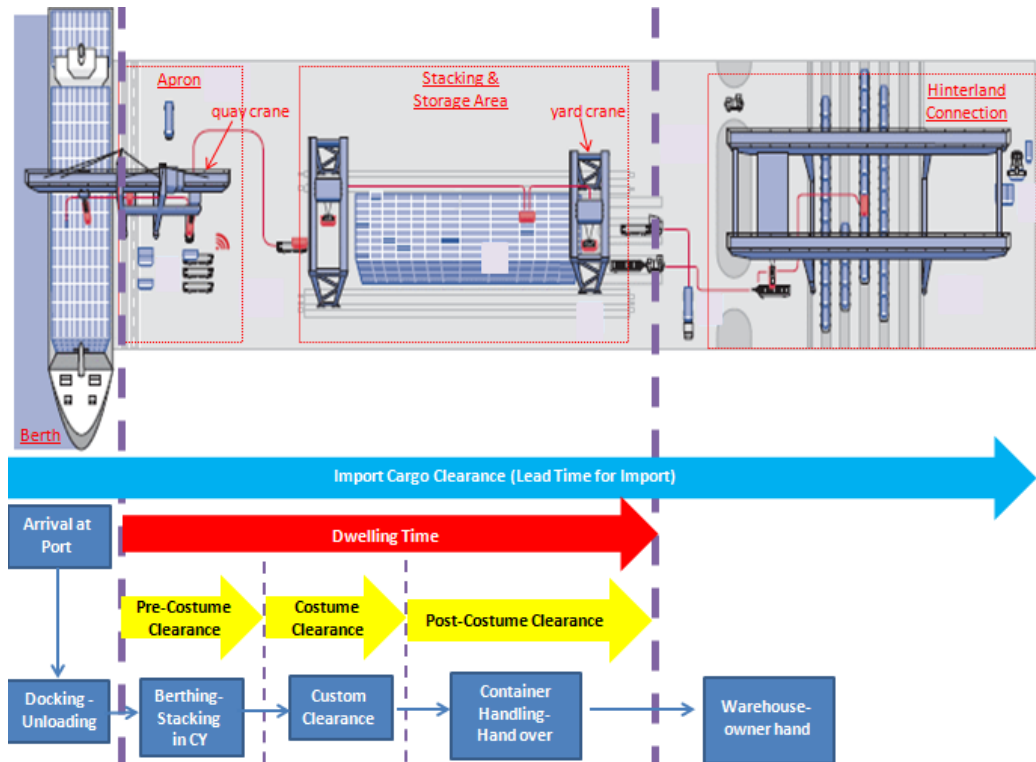
### 2.2.1. Mobilisasi Reefer Container di Pelabuhan

*Reefer container* dimaksudkan untuk mengirim produk yang memerlukan pengondisian tertentu seperti yang disebutkan sebelumnya. Karena itu *reefer container* memerlukan penanganan lebih dari otoritas pelabuhan untuk menjaga kualitas produk tetap terjaga dengan menjaga *reefer container* tetap terhubung dengan aliran listrik guna menjaga suhu didalamnya, mobolitas pelabuhan yang efektif dan efisien sangat berpengaruh dalam menjaga *reefer container* tetap terhubung dengan jaringan listrik.

*Reefer container* berada pada pelabuhan selama beberapa jam atau hari tergantung pada pelabuhan dan kualitas pelayanan pelabuhan. Selama itu, *reefer container* bergerak dari 1 elemen fasilitas pelabuhan ke elemen yang lain (Filina & Sergiy, 2008).



Gambar 2. 1 Dislokasi *reefer container* di area pelabuhan  
 (Sumber: Filina and Filin, 2008)



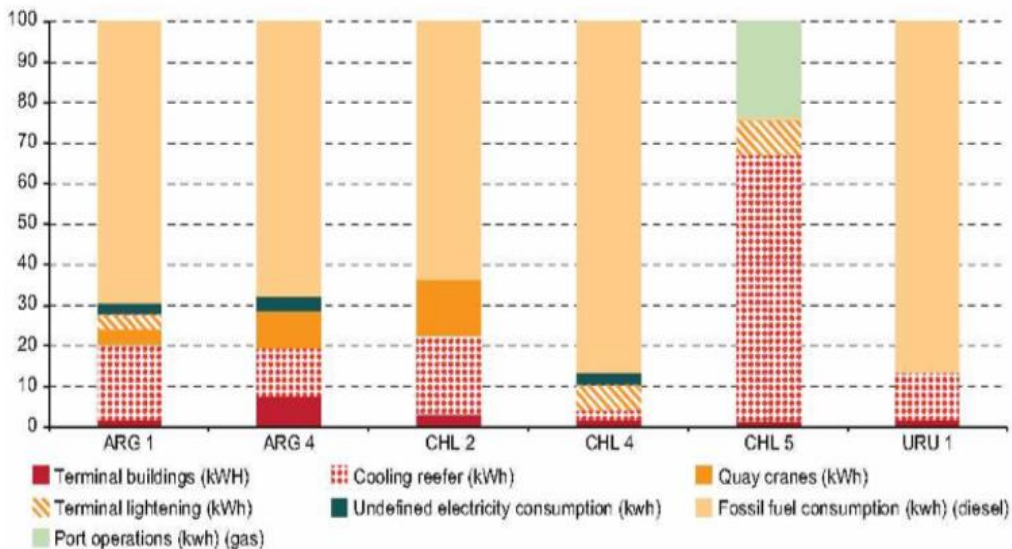
Gambar 2. 2 Alur Pergerakan Container di Pelabuhan  
(Sumber: Van Duin, 2019)

Setiap Operasi penanganan dan penataan ulang *reefer container* membutuhkan pemutusan hubungan aliran listrik, jumlah dan waktu tergantung pada rantai pelayanan container. Pemutusan hubungan listrik biasanya terjadi selama 2-4 jam dan bisa meningkat hingga 6-8 jam akibat factor manusia dan teknologi. Selama dipelabuhan pemutusan hubungan listrik ke *reefer container* terjadi sebanyak 2 kali, yang pertama ketika *reefer container* dipindahkan dari kapal ke lahan penumpukan. *Reefer container* di transportasi menuju beacukai / *costum protection* sebelum akhirnya ditumpuk di laham penumpukan. Kedua ketika *reefer container* dipindahkan ke truk pengangkut (Filina & Sergiy, 2008). Gambar 2.1 merupakan contoh skema yang banyak dipakai dipelabuhan Eropa, dan memungkinkan untuk adanya perluasan atau penyederhanaan.

## 2.2.2. Energi Management Pelabuhan dan Terminal

Port Throughput di Amerika Latin dan Karibia meningkat dari 10,4 juta unit 20 feet container (TEUs) pada tahun 1997 menjadi 43 juta TEUs pada tahun 2012. Volume ini memiliki tingkat pertumbuhan yang tinggi, terutama pada *reefer container* (Fall Bulletin, 2014). Namun *reefer container* membutuhkan pendinginan yang konstan untuk tetap menjaga kualitas produk sehingga mengkonsumsi energi dalam jumlah yang besar selama pergerakan di rantai pasok (*supply chain*), dan memberikan tekanan pada konsumsi energi dipelabuhan disamping energi yang dibutuhkan oleh pelabuhan untuk melakukan kegiatan dan operasi pelabuhan regular.

### ENERGY CONSUMPTION DISTRIBUTION AS A PERCENTAGE OF TOTAL TERMINAL ENERGY CONSUMPTION IN 2012 (Percentages)



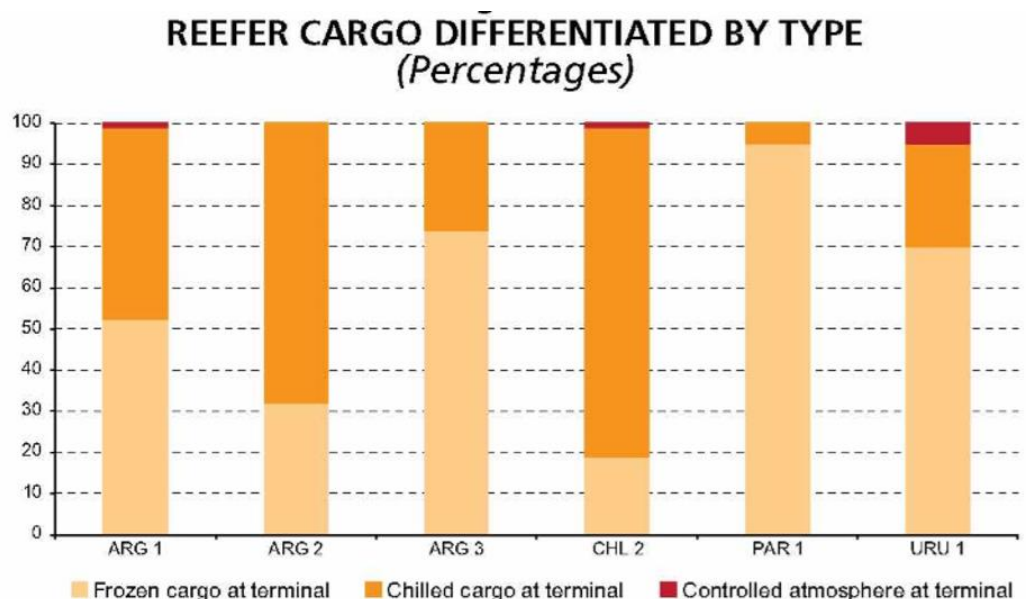
Gambar 2. 3 Distribusi konsumsi energi total di terminal  
(Sumber: Fal Bulletin, 2014)

Rata-rata distribusi konsumsi energi listrik di sebagian besar terminal sebagai berikut; (a) *reefer container* yang mengangkut produk *deep-frozen* atau *chilled cargo* sebesar 40%, (b) *ship-to-shore cranes* sebesar 40%, (c) Kebutuhan lampu terminal sebesar 12%, (d) kantor administrasi dan workshop sebesar 8%. Dapat dilihat dari atas bahwa konsumsi energi listrik yang terbesar digunakan untuk *reefer container* guna pengaturan udara/pendinginan, yang diikuti oleh *ship-to-shore cranes* (Fal Bulletin, 2014).

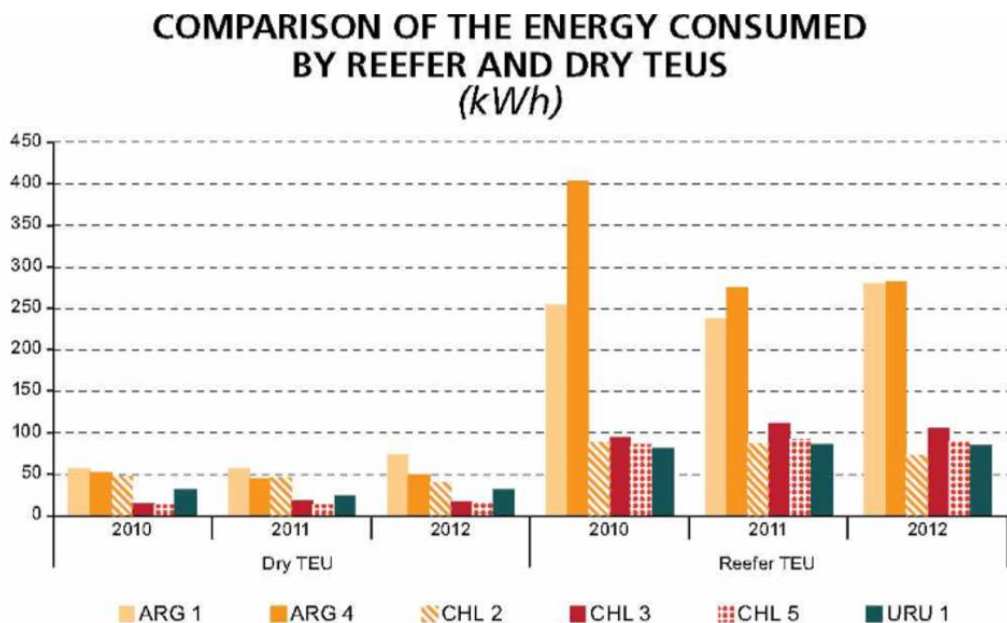
Pengondisian udara yang dibutuhkan produk/cargo pada *reefer container* seperti *frozen cargo*, *chilled cargo* dan *temperated regulated cargo* memiliki pola konsumsi energi listrik yang bervariasi. Ketiga kategori *reefer cargo* diatas membutuhkan pasokan energi yang konstan karena perubahan suhu sekecil apapun dapat berdampak buruk pada kualitas cargo. Gambar 2.4 menunjukkan konsumsi energi dari perbedaan *reefer cargo* yang ada dimana, *frozen cargo* dan *chilled cargo* menyumbang porsi yang signifikan.

Gambar 2.5 menunjukkan perbedaan konsumsi energi antara 2 tipe container tanpa memperhitungkan perbedaan tipe *reefer cargo*. Dalam kasus ini, konsumsi energi dari bahan bakar fosil dan listrik diperhitungkan untuk pendinginan, penerangan terminal, bangunan dan crane. Perhitungan didasarkan pada persamaan yang diadaptasi dari metodologi yang digunakan dalam Buhaug et al. (2009) tentang perbandingan antara kontainer dan kontainer kering (Fal Bulletin, 2014).





Gambar 2. 4 Konsumsi energi dari perbedaan perlakuan.  
(Sumber: *Fal Bulletin*, 2014)



Gambar 2. 5 Konsumsi energi dari perbedaan container.  
(Sumber: *Fal Bulletin*, 2014)

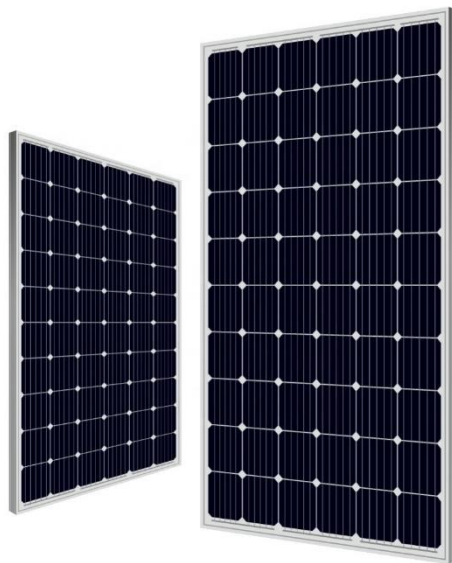
### 2.3 Definisi Solar Panel

Solar cell atau solar panel adalah perangkat yang dapat mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik arus searah (DC) menggunakan semikonduktor dengan



menggunakan prinsip *Photovoltaic*. *Photovoltaic* merupakan fenomena dimana muncul tegangan listrik karena adanya hubungan dua elektroda yang dihubungkan dengan sistem padatan atau cairan saat mendapatkan energi cahaya.

Arus listrik timbul karena energi cahaya matahari yang diterima. Cahaya matahari kemudian membebaskan elektron dalam sambungan semi-konduktor tipe N dan tipe P untuk kemudian mengalir. Solar panel ini memiliki kaki positif dan negative yang terhubung ke rangkaian atau perangkat yang memerlukan sumber listrik.



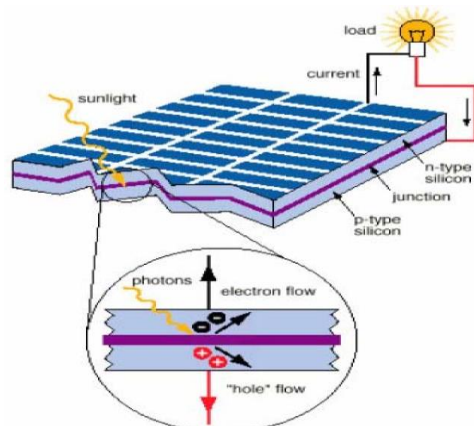
Gambar 2. 6 Solar Panel  
(Sumber: <https://indonesia.alibaba.com>)

### 2.2.1. Prinsip Kerja Solar Panel

Ketika bahan semikonduktor (Silikon) yang permukaannya mempunyai tipe N dan tipe P dan mendapatkan cahaya matahari maka, bahan semikonduktor tersebut melepaskan sejumlah kecil listrik. Cahaya matahari terdiri dari partikel yang disebut sebagai foton yang mempunyai sejumlah energy yang nilainya bergantung pada panjang gelombang pada *solar spectrum*.

Ketika foton menumbuk sel fotovoltaiik maka cahaya tersebut sebagian dipantulkan, diserap dan mungkin diteruskan. Cahaya matahari yang diserap membangkitkan listrik. Ketika terjadi tumbukan, energi yang ada pada foton dipindahkan ke elektron yang terdapat pada atom sel fotovoltaiik yang merupakan bahan semikonduktor.

Energi yang didapat dari foton, elektron melepaskan diri dari ikatan normal bahan semikonduktor. Ketika elektron melepaskan diri dari ikatannya, lubang atau *hole* terbentuk pada bahan semikonduktor. Ketika sel semikonduktor terhubung ke rangkaian luar, maka elektron menyatu dengan *hole* dan menciptakan arus listrik. Semakin tinggi jumlah cahaya matahari yang dipancarkan, semakin besar juga arus yang dihasilkan.



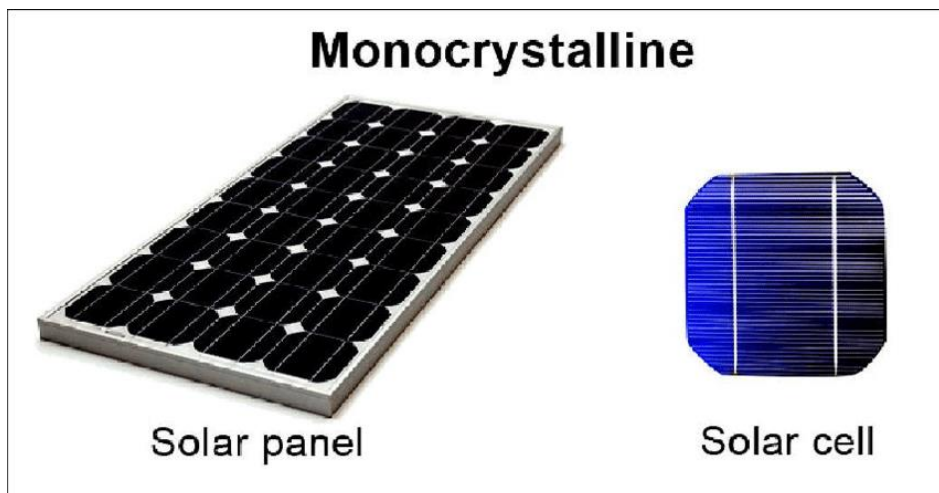
Gambar 2. 7 Solar Panel  
(Sumber: Teguh Wahyu, 2016)

#### 2.2.2. Jenis Bahan Solar Panel

Pada umumnya solar panel terbuat dari material silikon. Material silikon yang terbuat dari pasir dan merupakan salah satu elemen yang paling umum di bumi, sehingga tidak ada batas ketersediaan bahan baku. Beberapa material yang dipakai untuk solar panel yaitu;

##### a) *Monocrystalline*

*Monocrystalline* merupakan jenis bahan solar panel yang paling sering digunakan yang memiliki efisiensi berkisar antara 13% hingga 17%. *Monocrystalline* dapat menjadi jenis solar panel yang paling efisien ketika mendapatkan cahaya matahari dengan maksimal. *Monocrystalline* memiliki *lifespan* berkisar antara 25 tahun hingga 30 tahun, namun semakin tua umur solar panel energi listrik yang dihasilkan juga akan semakin berkurang.



Gambar 2. 8 *Monocrystalline*  
(Sumber: <http://researchgate.com>)

b) *Polycrystalline*

*Polycrystalline* merupakan jenis solar panel yang lebih murah namun memiliki efisiensi yang lebih kecil dibandingkan dengan *monocrystalline*. Efisiensi dari solar panel jenis ini berkisar antara 10% hingga 14%. *Polycrystalline* memiliki *lifespans* berkisar antara 20 tahun hingga 25 tahun, sama seperti *monocrystalline* semakin tua umur solar panel, energy listrik yang dihasilkan akan semakin berkurang.

c) *Thin-film technology*

*Thin-film technology* merupakan jenis solar panel yang diproduksi dengan menumpuk bahan fotosensitif yang sangat tipis pada substrat murah seperti kaca dan plastik. Karena proses ini, biaya produksi dapat di kurangi. Efisiensi dari solar panel jenis ini berkisar antara 5% hingga 13%. *Thin-film technology* memiliki *lifespans* berkisar antara 15 tahun hingga 20 tahun.

### 2.2.3. Tipe Sistem Pengaplikasian Solar Panel

Pada dasarnya sistem pengaplikasian solar panel terbagi menjadi 2 yaitu; Sistem solar panel yang tidak terjangkau oleh jaringan PLN (*Off-Grid*), sistem ini hanya mengandalkan energy matahari sebagai satu-satunya energy utama. Sistem solar panel yang tetap terhubung dengan jaringan PLN (*On-Grid*) dengan mengoptimalkan pemanfaatan energi solar.

Ada banyak sub tipe berbeda dari sistem fotovoltaiik sesuai dengan jenis dan metode koneksi ke jaringan, atau cara menyimpan energi pada sistem independen.

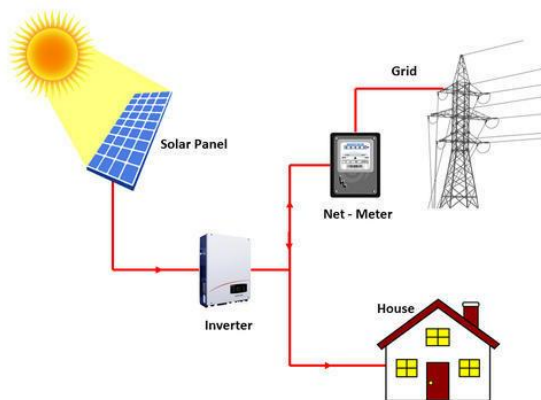
a) *On-Grid System*

*On-Grid system* merupakan pembangkit listrik tenaga surya yang tetap terhubung dengan jaringan PLN dengan mengoptimalkan pemanfaatan energy surya. Sistem ini adalah yang paling umum dan banyak digunakan oleh rumah dan bisnis. *On-Grid system* tidak membutuhkan baterai dan menggunakan inverter solar yang terhubung ke jaringan PLN. Kelebihan energi solar yang dihasilkan dapat diekspor ke jaringan listrik PLN dan biasanya dibayarkan kredit untuk energi yang sudah di ekspor.

Berdasarkan Permen ESDM Nomor 49 Tahun 2018, energi yang dihasilkan oleh solar panel nantinya otomatis memotong tagihan listrik pengguna maksimal 65% dari total daya yang dihasilkan oleh solar panel.

Energy listrik pelanggan (kWh) = Jumlah kWh impor – 65% kWh ekspor

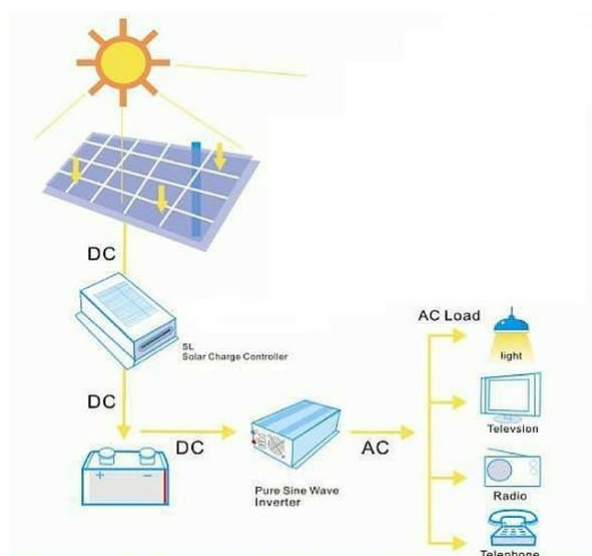
Artinya 1 Watt listrik yang dihasilkan oleh solar panel akan secara langsung mengurangi tagihan listrik PLN maksimal 0,65 watt untuk bulan berikutnya. Sehingga pengguna hanya membayar sisanya ditambah dengan biaya penggunaan listrik dari PLN. Dengan demikian tagihan listrik lebih murah.



Gambar 2. 9 On-Grid System  
(Sumber: <http://exportersindia.com>)

b) *Off-Grid System*

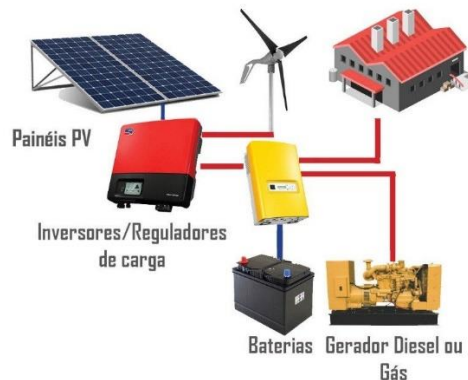
*Off-Grid system* merupakan pembangkit listrik tenaga surya yang tidak terjangkau oleh jaringan PLN dan hanya mengandalkan energi solar sebagai satu-satunya energi utama. Sistem ini membutuhkan perangkat tambahan yaitu baterai untuk menyimpan energi yang dihasilkan oleh solar panel. *Off-Grid system* biasanya digunakan pada daerah pedalaman, pulau-pulau kecil, dan perbatasan negara yang sulit dijangkau oleh jaringan PLN serta sebagai proyek pemerintah dalam program CSR.



Gambar 2. 10 Off-Grid System  
(Sumber: <https://guides.co/>)

c) *Hybrid System*

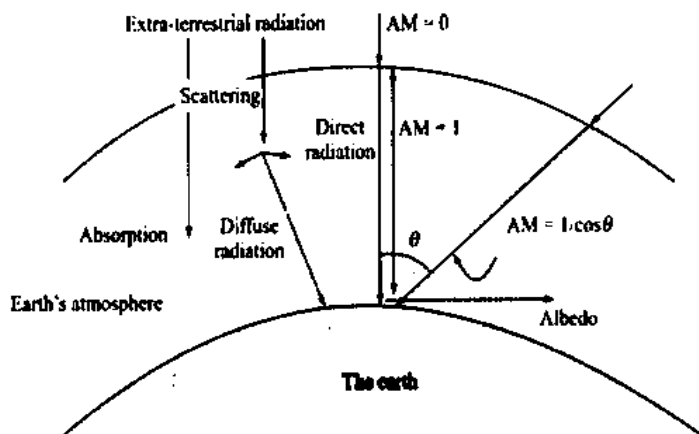
*Hybrid system* menggunakan pembangkit listrik lain secara bersama-sama untuk menunjang kebutuhan listrik yang dibutuhkan. Pembangkit listrik lainnya bisa menggunakan generator, baterai, *wind turbine*, dan lain-lain. *Hybrid system* memakan biaya lebih tinggi karena memerlukan pembangkit listrik lain yang harus disediakan.



Gambar 2. 11 *Hybrid System*  
(Sumber: <http://meee-services.com>)

## 2.4 Solar Panel Orientation and Tilt

Dalam upaya memaksimalkan energi matahari yang diterima oleh solar panel, dengan memposisikan panel pada posisi kemiringan yang optimal. Kemiringan pada solar panel memungkinkan permukaan solar panel selalu berada tepat menghadap matahari sepanjang tahun. Latitude penelitian berpengaruh terhadap radiasi yang diterima oleh solar panel, oleh karena itu posisi optimum solar panel pada suatu lokasi akan berbeda dengan lokasi lainnya. Dengan menyesuaikan sudut kemiringan optimum per bulanan per musim dapat meningkatkan energi sekitar 7,74% dan 6,38%, dibandingkan dengan sudut kemiringan yang tetap (Kaddoura, Ramli, & Al-Turki, 2016).



Gambar 2. 12 Interaksi Radiasi Terhadap Permukaan Bumi  
(Sumber: R. Darussalam, et.al, 2016)

#### 2.4.1. Radiasi Matahari pada Sudut Permukaan Miring

Perhitungan sudut kemiringan yang optimal pada solar panel yang optimal didasarkan pada radiasi matahari yang dipancarkan pada permukaan bidang miring. Radiasi matahari yang dipancarkan mengenai permukaan bidang miring terdiri dari 3 komponen, diantaranya radiasi langsung ( $H_B$ ), radiasi tersebar ( $H_D$ ), dan radiasi pantulan ( $H_R$ ). Perhitungan sudut kemiringan yang optimal dapat ditentukan dengan persamaan;

$$H_T = (H_g - H_d)R_b + H_g \left( \frac{1 - \cos \beta}{2} \right) + H_d \left( \frac{1 + \cos \beta}{2} \right) \quad (1)$$

$H_g$  dan  $H_d$  merupakan radiasi matahari yang mengenai permukaan horizontal secara langsung dan tersebar. Sedangkan  $R_b$  merupakan rasio radiasi matahari langsung terhadap permukaan bidang miring. Besarnya nilai tersebut dipengaruhi oleh *latitude* lokasi. Nilai  $R_b$  dapat ditentukan dengan persamaan;

$$R_b = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (2)$$

$\cos \theta$  merupakan sudut datangnya radiasi matahari. Nilai tersebut dapat ditentukan dengan persamaan;

$$\cos \theta = \sin \delta \sin \varphi \cos \beta - \sin \delta \sin \varphi \sin \beta + \cos \delta \cos \varphi \cos \beta \cos \omega + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega + \cos \delta \sin \varphi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega \quad (3)$$

$\cos \theta_z$  merupakan nilai azimuth matahari yang ditentukan dengan persamaan;

$$\cos \theta_z = \cos \varphi \cos \delta \cos \omega + \sin \varphi \sin \delta \quad (4)$$

Dimana  $\varphi$  merupakan *latitude* lokasi,  $\beta$  merupakan sudut miring permukaan panel surya,  $\gamma$  merupakan sudut azimuth permukaan,  $0^\circ$  hingga  $180^\circ$  menghadap selatan hingga utara.  $\omega$  merupakan sudut jam,  $\delta$  merupakan sudut deklinasi matahari yang dapat ditentukan dengan persamaan;

$$\delta = 23,45 \sin \left( \frac{360}{365} (284 + n) \right) \quad (5)$$

Dimana nilai  $n$  merupakan nomor untuk hari pertama pada setiap bulannya.

Tabel 2. 1 Nilai  $n$

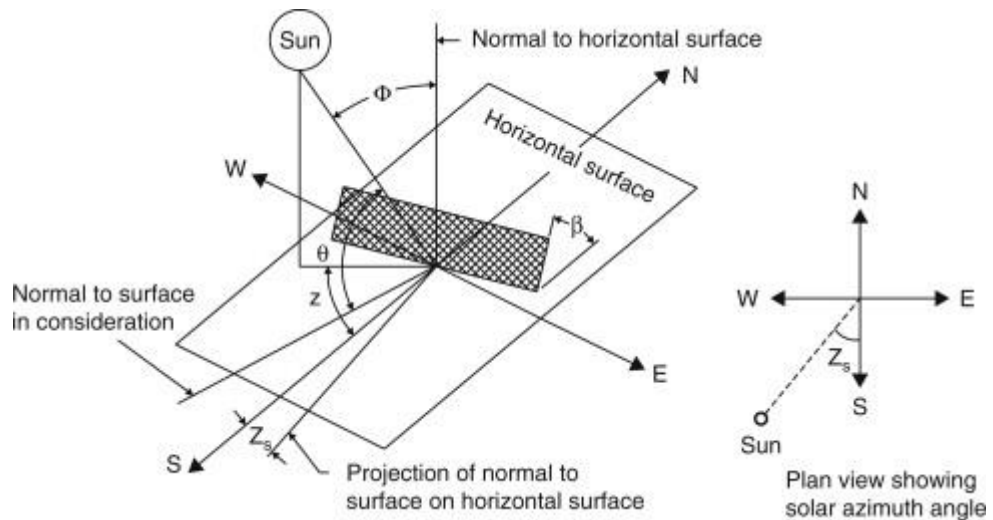
Bulan	Nomor	Bulan	Nomor	Bulan	Nomor
Januari	$n = 1$	Mei	$n = 121$	September	$n = 244$

<b>Febuari</b>	$n = 32$	Juni	$n = 152$	Oktober	$n = 274$
<b>Maret</b>	$n = 60$	Juli	$n = 182$	November	$n = 305$
<b>April</b>	$n = 91$	Agustus	$n = 213$	Desember	$n = 335$

#### 2.4.2. Radiasi Langsung

Radiasi langsung pada permukaan miring ( $H_B$ ) ditentukan berdasarkan nilai radiasi langsung dan tersebar pada permukaan horizontal yang dapat ditentukan dengan persamaan;

$$H_B = (H_g - H_d)R_b \quad (6)$$



Gambar 2. 13 Hubungan Skematik Sudut Terhadap Permukaan Miring  
(Sumber: D. Yang 2016)

#### 2.4.3. Radiasi Tersebar

Radiasi tersebar pada permukaan miring ( $H_D$ ), ditentukan berdasarkan nilai radiasi tersebar pada permukaan horizontal ( $H_d$ ) dan rasio radiasi tersebar ( $R_d$ ), yang dapat ditentukan dengan persamaan;

$$H_D = R_d H_d \quad (7)$$

Nilai dari  $R_d$  secara umum terbagi menjadi 2 model yaitu, pertama model isotropic dan kedua model anisotropic.

##### 1. Model Isotropic

Model isotropic mengansumsikan intensitas radiasi bernilai sama diseluruh kubah langit, sehingga radiasi tersebar pada permukaan miring bergantung pada kilasan cahaya yang terlihat di kubah langit. Model isotropic salah satunya diusulkan oleh Liu and Jordan dengan persamaan sebagai berikut;

$$R_d = \frac{1 - \cos \beta}{2} \quad (8)$$

## 2. Model Anisotropic

Model anisotropic mengansumsikan radiasi tersebar yang mengelilingi matahari dijumlahkan dengan komponen radiasi tersebar dari kubah langit. Model anisotropic diusulkan oleh Reindel et al dengan persamaan sebagai berikut;

$$R_d = \frac{H_b}{H_0} R_b + \left(1 - \frac{H_b}{H_0}\right) \left(\frac{1 + \cos \beta}{2}\right) \left(1 + \sqrt{\frac{H_b}{H_0}} \sin^3 \frac{\beta}{2}\right) \quad (9)$$

Nilai rasio radiasi tersebar yang digunakan pada penelitian ini menggunakan model yang diusulkan oleh Liu and Jordan.

### 2.4.4. Radiasi Pantulan

Radiasi pantulan pada permukaan permukaan miring ( $H_R$ ) dapat ditentukan dengan persamaan;

$$H_R = H_g \rho \frac{1 - \cos \beta}{2} \quad (10)$$

$\rho$  merupakan komponen *ground albedo* atau nilai pantulan permukaan merupakan nilai spesifik permukaan dimana solar panel dipasang. Bila jenis permukaan tidak diketahui, maka nilai *ground albedo* dapat diansumsikan sebesar 0,2.

## 2.5 Energi Solar Panel

Energi yang dihasilkan dari sistem Photovoltaic ditentukan berdasarkan estimasi arus dan tegangan yang dihasilkan modul solar, dimana daya keluaran modul solar tergantung pada karakteristik teknis dan parameter lingkungan. Model solar meliputi parameter listrik pada kondisi standar, *short circuit current* ( $I_{SC}$ ), dan *Open Circuit Voltage* ( $V_{OC}$ ). Dalam kondisi ideal  $I_{ph}$  bernilai sama dengan  $I_{sc}$ .

$$V_{OC} = \frac{kT}{q} \ln \left( \frac{I_{ph}}{I_0} + 1 \right) \quad (13)$$

*Short circuit current* ( $I_{SC}$ ) dan *Open Circuit Voltage* ( $V_{OC}$ ) masing –masing merupakan arus dan tegangan maksimum dari sel surya. Fill factor (FF) merupakan parameter menentukan daya maksimum dari sel surya juga sebagai rasio daya maksimum dari sel surya dengan  $V_{OC}$  dan  $I_{SC}$ .

$$FF = \frac{P_{MP}}{V_{OC} I_{SC}} \quad (14)$$



Konversi energy PV dinyatakan sebagai rasio anantara energy keluaran yang dihasilkan yaitu energy listrik terhadap energy matahari yang dipanarkan ke permukaan solar panel, sehingga efisiensi energy dapat ditentukan dengan persamaan;

$$\eta_{en} = \frac{I_{sc}V_{oc}FF}{I_{in}} \quad (15)$$

Besarnya daya yang dihasilkan oleh solar panel merupakan hasil perkalian dari tegangan rangkaian rebuke ( $V_{oc}$ ), arus hubung singkat ( $I_{sc}$ ), dan *fill factor* (FF), dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF \quad (16)$$

## 2.6 Analisa Kelayakan Ekonomi

Dalam menjalankan proyek-proyek besar dan investasi pembangunan seperti pembangunan *Solar Panel Roof*, perlu dilakukan analisis kelayakan ekonomi sebelum dilakukannya pembangunan sehingga proyek bisa dikatakan layak/tidaknya untuk dilakukan. Analisa kelayakan ekonomi dapat dilakukan dengan perbandingan anatar biaya (*cost*) yang diperlukan untuk menjalankan proyek terhadap kemanfaatan (*benefit*) yang didapat yang dapat diukur langsung dengan pendapatan (*revenue*) yang dihasilkan oleh proyek tersebut.

Analisa kelayakan ekonomi dapat dikatakan berhasil atau layak dengan mempertimbangkan beberapa kriteria didalamnya seperti, *Benefit/Cost Ratio* (B/C Ratio), *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR), dan *Payback Period* (PP).

### 2.8.1. Net Present Value (NPV)

*Net Present Value* merupakan nilai arus kas yang dihasilkan dari sebuah investasi. NPV dapat dihitung dengan menjumlahkan alur kas dari periode 0 hingga periode akhir. Suatu proyek dapat dikatakan layak jika nilai NPV positif karena mengindikasikan perhitungan investasi proyek tersebut telah mencapai kondisi memberikan keuntungan sampai periode akhir. Namun jika NPV bernilai negatif maka suatu proyek dapat dikatakan tidak layak karena mengindikasikan perhitungan investasi tidak atau belum mencapai kondisi mampu memberikan keuntungan sampai periode akhir. NPV dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$\sum_{t=0}^N \frac{CF_t}{(1+r)^t} + II = NPV \quad (17)$$

### 2.8.2. Internal Rate of Return (IRR)

*Internal Rate of Return* merupakan tingkat efisiensi dari sebuah investasi. Apabila nilai IRR lebih besar dari tingkat bunga bank yang berlaku, maka usulan investasi/proyek dapat dikatakan layak. IRR dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$IRR = i_1 + \frac{NPV_1}{(NPV_1 - NPV_2)} (i_2 - i_1) \quad (18)$$

### 2.8.3. *Benefit/Cost Ratio (BCR)*

Benefit/Cost Ratio adalah perbandingan antara jumlah nilai sekarang dari pendapatan (*benefit*) dan pengeluaran (*cost*) proyek selama umur ekonomisnya (Sulianti I, Tilik L, 2013). Proyek dapat dikatakan layak dilakukan jika nilai dari  $BCR > 1$ .

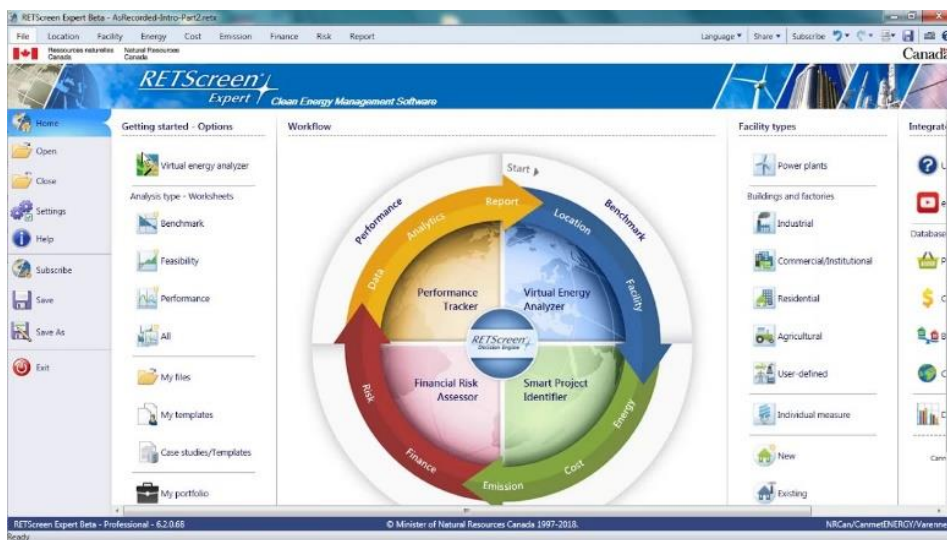
$$BCR = \frac{\sum Benefit}{\sum Cost} \quad (19)$$

### 2.8.4. *Payback Period (PP)*

*Payback Period* merupakan waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan nilai investasi dari *revenue* yang dihasilkan oleh proyek.

## 2.7 *RETScreen*

RETScreen merupakan software yang membantu mengevaluasi produk energi, biaya siklus hidup dan pengurangan emisi gas rumah kaca untuk berbagai jenis teknologi energi terbarukan. RETScreen menyediakan lembar-lembar kerja analisis yang dapat dimanfaatkan oleh penggunanya yaitu analisis energi, analisis biaya, analisis emisi, analisis keuangan, dan analisis risiko sesuai dengan energi yang ingin diterapkan. Mulai dari tolak ukur lokasi dan fasilitas kemudian kelayakan proyek dengan menganalisa energi, biaya, emisi, keuangan dan risiko dan terakhir kinerja dari sistem energi yang diterapkan

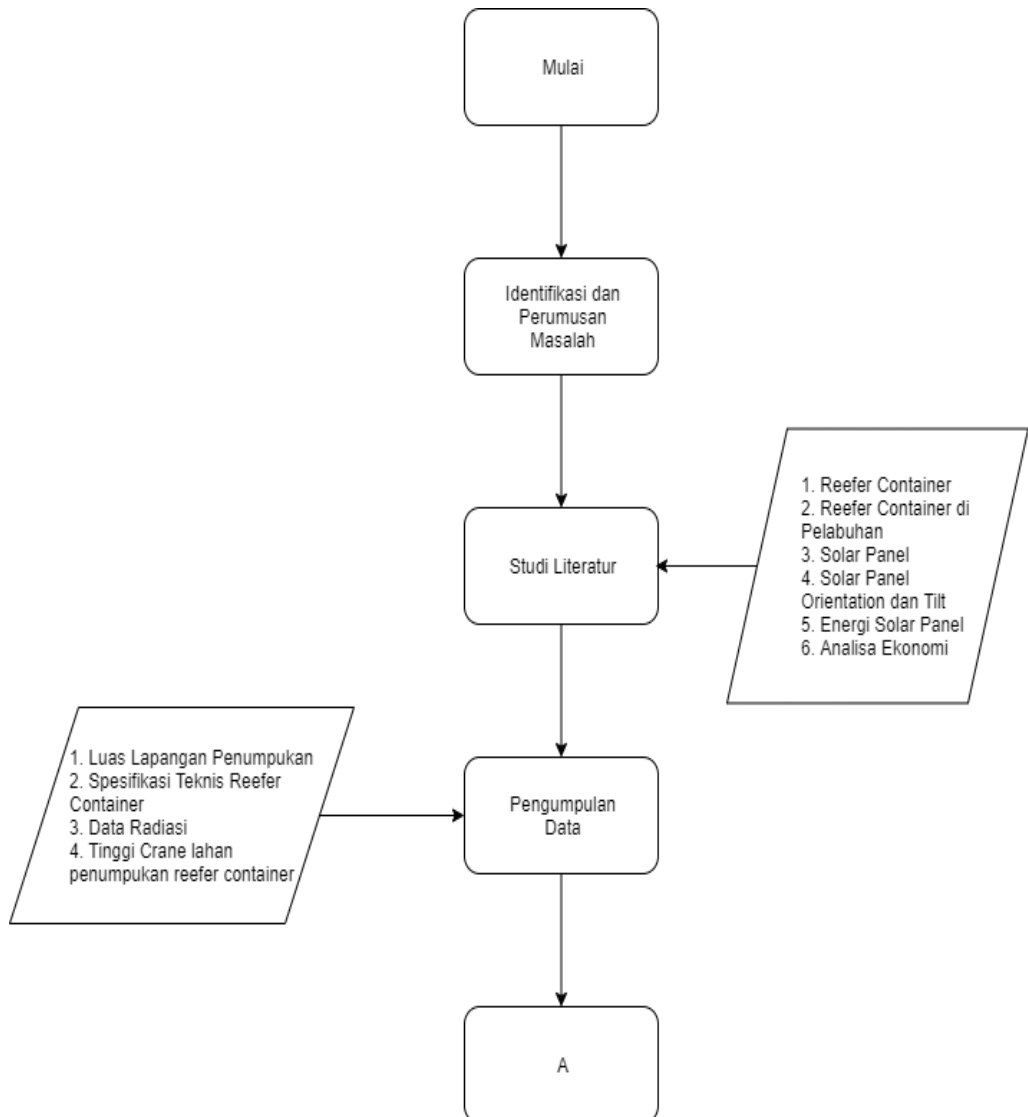


Gambar 2. 14 Gambar RETScreen  
(Sumber: google.com)

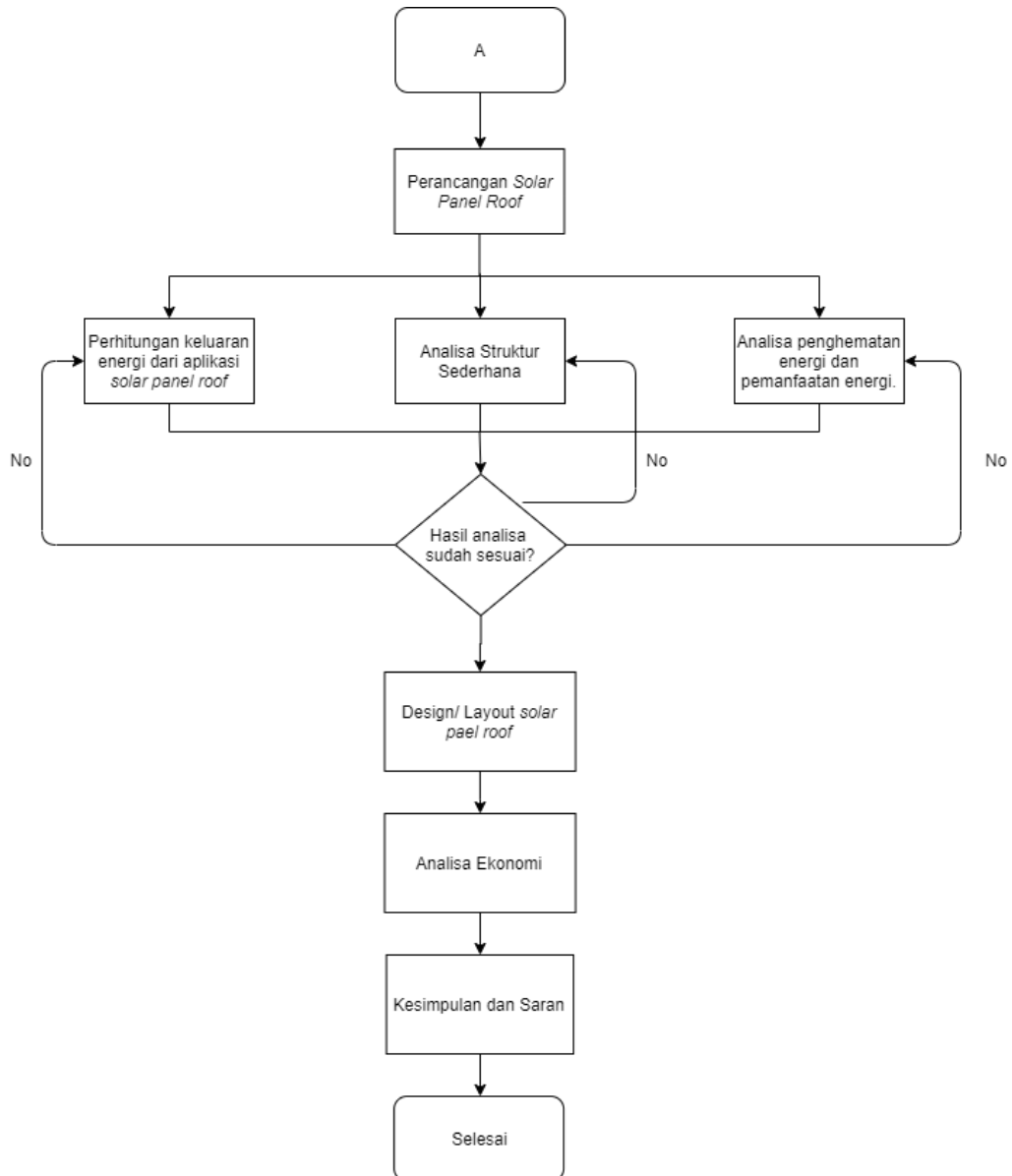
### BAB III

#### METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan pada pengerjaan tugas akhir ini adalah metode perancangan dan analisa berdasarkan pada penelitian-penelitian sebelumnya. Langkah-langkah pelaksanaan dapat dilihat pada *flow chart* berikut ini.



Gambar 3. 1 *Flowchart* tugas akhir



Gambar 3. 2 *Flowchart* tugas akhir (2)

### 3.1. Identifikasi Masalah

Masalah atau topik yang akan dibahas diformulasikan atau dirumuskan pada tahap ini. Pada penelitian ini, masalah yang akan dibahas adalah Analisa penghematan energy dari pengaplikasian *solar panel roof* dilahan penumpukan *reefer container*.

### 3.2. Studi Literatur

Studi Literatur dilakukan pada awal penelitian dengan tujuan untuk memperoleh informasi awal dan dasar-dasar teori yang berkaitan dengan penelitian yang dilaksanakan. Literatur dari penelitian ini dapat dicari melalui jurnal, buku, paper,

makalah, thesis dan tugas akhir yang telah dilakukan sebelumnya. Beberapa poin yang harus dicari sebagai dasar pengerjaan penelitian ini yaitu: parameter utama untuk menghitung penghematan energi, material, dan keluaran energi dari solar panel.

### **3.3. Pengumpulan Data**

Setelah mengetahui langkah-langkah untuk menghitung penghematan energy dengan pengaplikasian solar panel diatas *solar panel roof* maka selanjutnya adalah mencari data-data yang diperlukan dalam melakukan penelitian ini. Data dapat diperoleh dari studi lapangan maupun tugas akhir yang sudah pernah dilakukan sebelumnya, pada tugas akhir kali ini diperlukan data volume *reefer container* selama 1 tahun, konsumsi energi PT. Terminal Petikemas Surabaya, konsumsi energi *reefer container*, tinggi *gantry crane*, dan luas *reefer container CY*.

### **3.4. Perencanaan Solar panel roof**

Dalam perencanaan *solar panel roof* harus diperhatikan luas lahan penumpukan *reefer container* dan tinggi dari crane yang memindahkan *reefer container*. Selain itu sudut kemiringan *solar panel roof* juga harus diperhatikan untuk menunjang keoptimalan sinar matahari yang ditangkap oleh modul solar.

### **3.5. Perencanaan Solar Panel pada Solar panel roof**

Setelah perencanaan *solar panel roof* telah dilakukan, selanjutnya adalah tahap perencanaan solar panel. Banyaknya modul, rangkaian modul yang dipilih, dan jenis solar panel yang diaplikasikan.

### **3.6. Analisa Struktur Sederhana**

Pada tahap ini penulis melakukan analisa sederhana terhadap struktur solar panel roof yang telah dirancang sebelumnya. Analisa struktur menggunakan perhitungan sederhana untuk membuktikan kekuatan dari struktur yang terpasang. Pada analisa ini dilakukan pengecekan pada rencana atap dan kolom dengan mempertimbangkan penampang profil, kontrol momen, control *lateral buckling*, kontrol kelangsingan, lendutan dan kekuatan tekan.

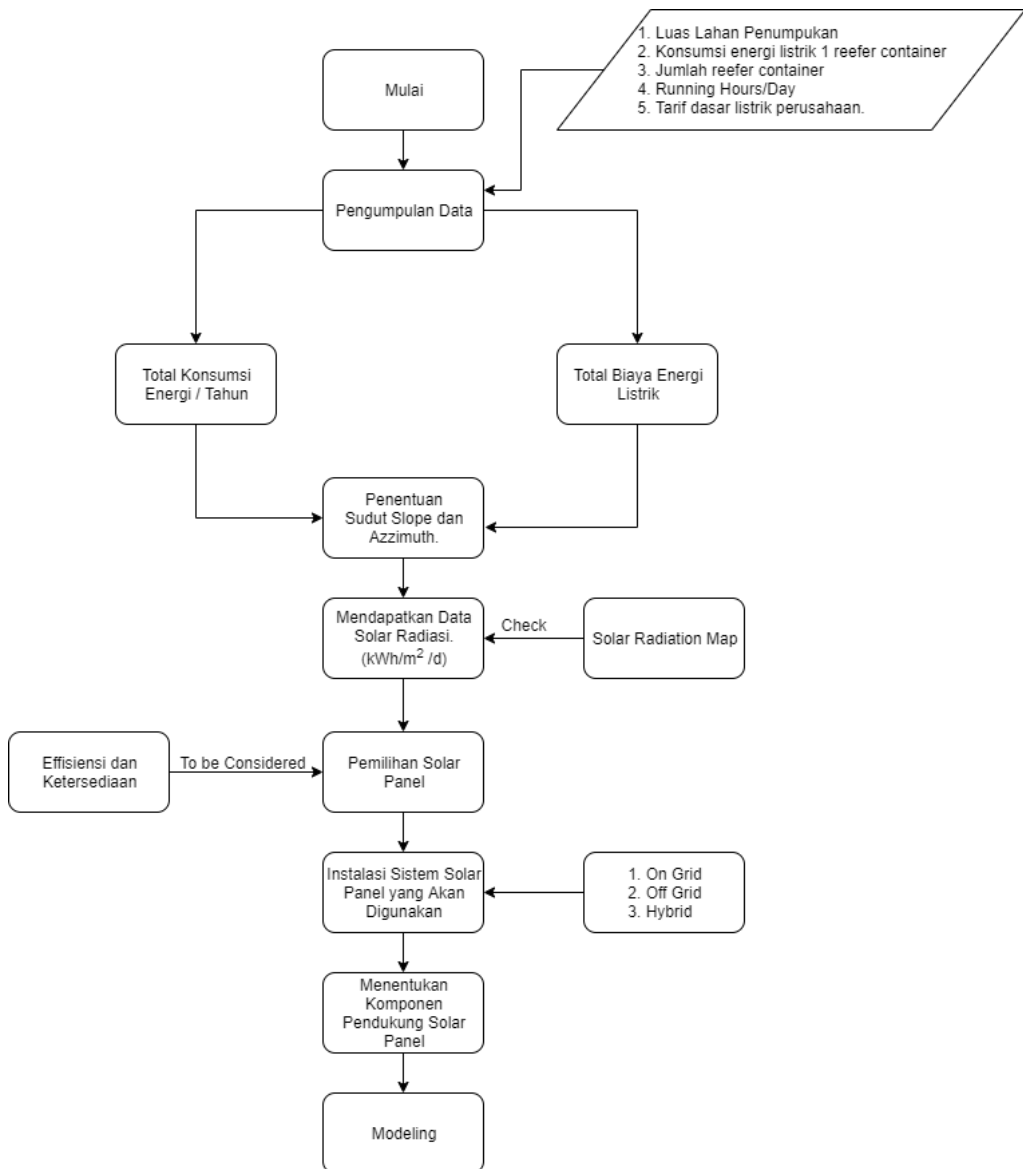
### **3.7. Perhitungan Keluaran Energi dari Aplikasi Solar Panel**

Pada tahap ini peneliti menghitung keluaran energi yang dihasilkan dari pengaplikasian solar panel pada *solar panel roof*, efisiensi energy dari solar panel.

### **3.8. Analisa Penghematan Energi dan Pemanfaatan Energi**

Setelah mendapatkan keluaran energi dari solar panel, selanjutnya pada tahap ini dilakukan analisa pemanfaatan energi dari perencanaan *solar panel roof* dilahan penumpukan *reefer container*. Analisa energi tersebut nantinya menunjukan seberapa pengurangan energi listrik yang digunakan oleh PT. TPS. Pengurangan energi yang digunakan akan menurunkan kadar emisi gas rumah kaca sehingga dilakukan juga analisa emisi. Penghematan energi dilakukan untuk mengetahui penghematan akibat roof yang menghalangi sinar matahari secara langsung ke *reefer container*.

Gambar 3.3 menunjukkan bagaimana proses kerja software RETScreen dalam menganalisa energy yang diproduksi oleh *solar panel* sebagai pemanfaatan energy terbarukan di Terminal Petikemas Surabaya pada proyek yang direncanakan.



Gambar 3. 3 Work flow RETScreen energi

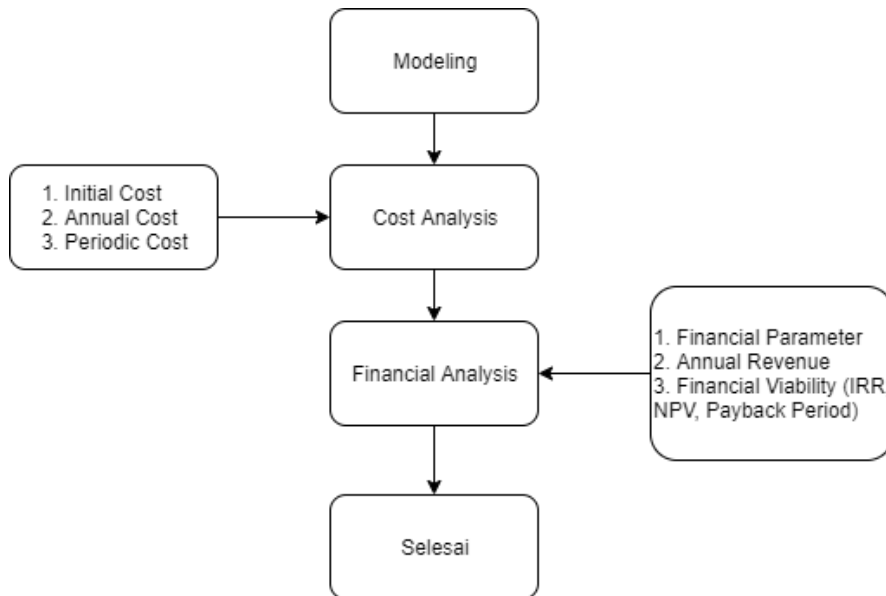
### 3.9. Design atau Layout Solar Roof Panel

Tahap selanjutnya adalah Layout dari *solar roof panel* yang dirancang pada penelitian ini. Layout direncanakan dengan penempatan *solar panel roof* pada *reefer container yard* dan komponen pendukung sistem solar panel. Perencanaan layout ini menggunakan software SketchUp untuk menunjukkan layout 3D pada *reefer container yard*.

### 3.10. Analisa Ekonomi

Tahap selanjutnya adalah menganalisis ekonomi, apakah dana yang dikeluarkan pada proyek atau penelitian ini sepadan dengan penghematan energi yang terjadi.

Gambar 3.4 menunjukkan bagaimana proses kerja software RETScreen dalam menganalisis ekonomi sebagai parameter kelayakan suatu proyek



Gambar 3. 4 *Work flow RETScreen analisa ekonomi*

### 3.11. Kesimpulan dan Saran

Seluruh proses penelitian telah selesai, pada tahap terakhir ini akan ditarik kesimpulan dari hasil penelitian ini untuk menjawab tujuan dari penelitian. Sehingga dari kesimpulan tersebut dapat dijadikan acuan untuk penelitian lebih lanjut. Terakhir penulis akan memberikan saran pada penelitian kali ini mengenai kekurangan serta rekomendasi agar berguna bagi penelitian selanjut

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



## BAB IV

### ANALISA DATA

#### 4.1 Deskripsi Umum

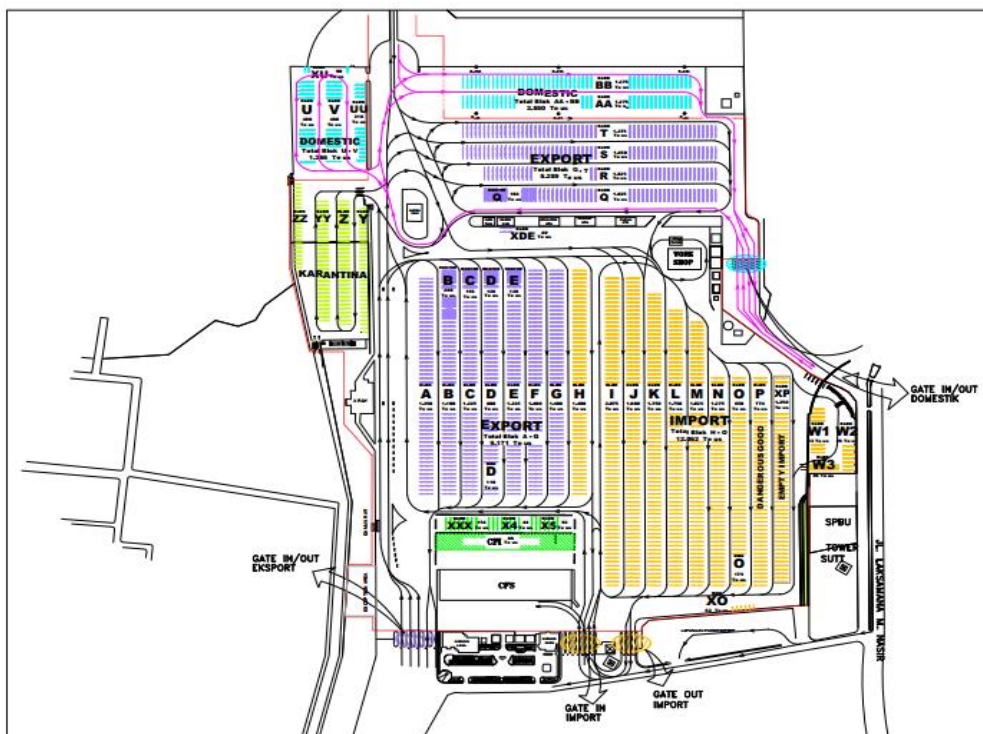
Simulasi pemanfaatan energi solar panel, analisa emisi dan analisa ekonomi menggunakan software RETScreen. Beberapa data yang diolah didapatkan dari PT. Terminal Petikemas Surabaya.

#### 4.2 Data PT. Terminal Petikemas Surabaya.

Sebelum melakukan simulasi pemanfaatan energi, terlebih dahulu melakukan pencarian dan pengumpulan data *reefer container yard* yang didapatkan dari PT. Terminal Petikemas Surabaya dan digunakan untuk simulasi penelitian kali ini.

##### 4.2.1. Data Reefer Container Yard

*Reefer container* di PT. Terminal Petikemas Surabaya ditempatkan pada 2 lahan penumpukan yaitu, lahan penumpukan karantina dan lahan penumpukan transport. Lahan penumpukan karantina digunakan untuk tempat penumpukan sementara yang belum melewati proses pengecekan oleh BeaCukai dan berada di jalur merah. Sedangkan lahan penumpukan transport digunakan untuk menumpuk *reefer container* yang sudah berada di jalur hijau.



Gambar 4. 1 Layout PT. Terminal Petikemas  
(Sumber: PT. Terminal Petikemas Surabaya)

Lahan penumpukan *reefer container* pada CY Transport terletak pada blok B dengan kapasitas 240 TEUs, blok C dengan kapasitas 156 TEUs, blok D dengan kapasitas 128 TEUs, blok E dengan kapasitas 128 TEUs dan blok Q dengan kapasitas 184 TEUs. Lahan penumpukan *reefer container* pada CY karantina terletak pada blok Y dengan kapasitas 120 TEUs.

Pada penelitian ini, peneliti akan lebih menfokuskan pada CY transport dengan kapasitas total 836 TEUs dan terkhusus di blok B. PT. Terminal Petikemas melayani 95% lebih *reefer container* dengan ukuran 40 feet sangat jarang melayani *reefer container* dengan ukuran 20 feet.

#### 4.2.2. Konsumsi Energi dalam 1 Tahun PT. Terminal Petikemas Surabaya.

PT. Terminal Petikemas Surabaya memiliki 2 sumber listrik yang digunakan yaitu yang bersumber dari PT. Pelindo 3 dan dari PLN itu sendiri.

Tabel 4. 1 Data Konsumsi Energi dalam 1 Tahun dalam juta

Tahun	Pelindo 3		PLN		Total (kWh)	Total (Rp)
	Rp	kWh	Rp	kWh		
2015	Rp 18.254.702.394	10288000	Rp -	0	10288000	Rp 18.254.702.394
2016	Rp 15.903.380.421	8968000	Rp 3.822.944.694	3262960	12230960	Rp 19.726.325.115
2017	Rp 12.214.519.245	6880000	Rp 11.065.657.547	9378080	16258080	Rp 23.280.176.792
2018	Rp 3.410.960.481	1908000	Rp 16.857.570.191	14141000	16049000	Rp 20.268.530.672
2019	Rp 1.874.194.977	1049984	Rp 14.761.193.900	12208600	13258584	Rp 16.635.388.877

#### 4.2.3. Volume *Reefer Container*

Volume *reefer container* pada PT. Terminal Petikemas Surabaya bervariasi jumlahnya setiap hari. Volume *reefer container* berada pada puncak tertingginya ketika memasuki libur Natal dan Tahun Baru.

Tabel 4. 2 Volume *Reefer Container*

Bulan	Jumlah Minimal	Jumlah Maksimal	Rata-rata Jumlah setiap bulan.	Full Load
Januari	53	514	185	478
Febuari	48	173	108	478
Maret	70	249	128	478
April	68	279	139	478
Mei	48	419	222	478
Juni	12	329	128	478
Juli	11	97	61	478
Agustus	6	142	58	478
September	11	108	60	478
Oktober	11	111	66	478
November	22	128	79	478

Desember	40	195	108	478
Rata-rata 1 Tahun			112	

#### 4.2.4. Spesifikasi Utama *Reefer Container*

Spesifikasi utama reefer container yang dijadikan acuan dalam penelitian kali ini adalah *Daikin reefer container*.

Tabel 4. 3 Spesifikasi Reefer Container

<b>Merek</b>		<b>Daikin</b>
<b>Type</b>		Zestia Series
<b>Dimension</b>	Panjang (m)	12.192
	Lebar (m)	2,025
	Tinggi (m)	2,234
<b>Max. Power Consumption (kW)</b>		13,5
<b>Chilled Power Consumption (kW)</b>		10
<b>Froze Power Consumption (kW)</b>		5,9
<b>Refrigerant</b>	Type	R134a
	Charged amount	5,9 kg
<b>Classification Society Approval</b>		BV

#### 4.2.5. Data solar saat pengambilan langsung

Pengambilan data solar secara langsung dilakukan di CY karantina PT. Petikemas Surabaya. Data diambil pada tanggal 3 April 2020 dari pukul 11:15 hingga pukul 16:00. Pengambilan data diambil setiap 5 menit sekali untuk mengakuratkan data. Kondisi dilapangan saat pertama kali pengambilan cerah dan mendapatkan intensitas solar maksimum dengan nilai maksimum 1088 W/m<sup>2</sup>. Namun, pada pukul 12:30 cuaca mulai berawan dan mendung sehingga intensitas solar yang didapatkan tidak maksimal dan sangat kecil, dengan nilai minimum 19,1 W/m<sup>2</sup>. Berikut data yang didapatkan;

### 4.3 Konsumsi Energi Reefer Container Yard

Konsumsi energi yang dihasilkan *reefer container* di *reefer container yard* dapat ditentukan dengan kalkulasi yang peneliti lakukan berdasarkan data yang didapatkan dari PT. Terminal Petikemas Surabaya. Karena adanya perbedaan ukuran *reefer container* yang menyebabkan perbedaan konsumsi energi pada setiap *reefer container* maka perhitungan *reefer container* ukuran 20 feet dan 40 feet dibedakan. Perhitungan ini nantinya menentukan seberapa besar energi tambahan yang dihasilkan dari solar panel yang *mensupport* listrik pusat (PLN).

Pada reefer container di terminal memiliki 3 kondisi pemakaian listrik yang terjadi saat menumpuk di CY (*Container Yard*). Pertama, kondisi saat starting dimana *reefer container* pertama kali dinyalakan dan diplug-in ke socket, kondisi ini menggunakan 18 Ampere. Kedua, kondisi stand-by ketika suhu didalam *reefer container* sudah mencapai suhu yang diinginkan/melebihi sehingga pendingin berada pada posisi *stand-by*, kondisi ini menggunakan 11 Ampere. Ketiga, kondisi defrost ketika adanya kenaikan suhu temperature setelah kondisi stand-by, kondisi ini menggunakan 15 Ampere. Untuk kondisi chilled, penulis menggunakan referensi Daikin *reefer container*

yaitu sebesar 1,69 kali power pada kondisi frozen. *Reefer container* memiliki voltage 380 volt. Untuk kondisi reefer

Konsumsi energi *reefer container* disetiap kondisi dapat dihitung dengan kalkulasi seperti yang peneliti lakukan;

Starting	= Amper saat starting x voltase
power consumption (kW)	= 18 A x 380 V
	= 6840 W / 6,84 kW
<i>Stand-by</i>	= Amper saat starting x voltase
power consumption (kW)	= 11 A x 380 V
	= 4180 W / 4,18 kW
Defrost	= Amper saat starting x voltase
power consumption (kW)	= 15 A x 380 V
	= 5700 W / 5,7 kW
Chilled	= 1,69 x Defrost power
power consumption (kW)	= 1,69 x 5,7 kW
	= 9,6 kW

Konsumsi energi *reefer container* dalam 1 hari dapat dihitung dengan mempertimbangkan lamanya kondisi-kondisi diatas bekerja. Berdasarkan pengamatan dilapangan pada saat kondisi cerah, *reefer container* di lahan karantina akan mengalami kondisi starting setidaknya sebanyak 2x dalam 1 hari yaitu ketika awal menyambungkan plug-in dan ketika *reefer container* harus diputus dari plug-in untuk memindahkan *reefer container* lain yang terhalang.

*Reefer container* berada pada kondisi defrost selama 20 menit sekali, yaitu ketika suhu sudah mendekati atau kurang dari suhu yang ditentukan. Contoh pada lapangan yaitu suhu dalam *reefer container* ditentukan 1°C, *reefer container* akan menjadi kondisi defrost ketika suhu sudah berada pada nilai 0,9°C dan terus mendinginkan hingga suhu dalam menjadi 0,7°C. Dalam 1 hari kondisi ini berlangsung selama 13,67 jam.

Ketika suhu sudah mencapai 0,7°C, *reefer container* akan beralih menjadi kondisi *stand-by*. *Reefer container* akan berada pada kondisi ini hingga suhu dalam *reefer container* mendekati suhu yang ditentukan yaitu 0,9°C dan berlangsung selama 15 menit sekali. Dalam 1 hari kondisi ini berlangsung selama 10 jam.

Starting	= Konsumsi energi x waktu
power consumption (kWh)	= 6,84 kW x 2 times
	= 13,68 kW
<i>Stand-by</i>	= Konsumsi energi x waktu
power consumption (kW)	= 4,18 kW x 10 Jam
	= 41,8 kW
Defrost	= Konsumsi energi x waktu
power consumption (kW)	= 5,7 kW x 13,67 Jam
	= 77,9 kW
Chilled	= Konsumsi energi x waktu
power consumption (kW)	= 9,6 kW x 13,67 Jam
	= 131,68 kW

$$\begin{aligned}
 \text{Total froze konsumsi energi} &= 13,68 \text{ kW} + 41,8 \text{ kW} + 77,9 \text{ kW} \\
 \text{dalam 1 hari (kWh/d)} &= 133,38 \text{ kWh/d} \\
 \text{Total chilled konsumsi energi} &= 13,68 \text{ kW} + 41,8 \text{ kW} + 131,68 \text{ kW} \\
 \text{dalam 1 hari (kWh/d)} &= 187,13 \text{ kWh/d}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan data yang diperoleh dari perusahaan (PT.TPS) perihal daya tampung *reefer container*, dapat ditentukan konsumsi energi untuk *reefer container* dalam 1 harinya. Karena lebih dominannya *reefer container* dengan ukuran 40 feet, maka perhitungan memakai *reefer container* 40 feet. Jadi 2 TEUs bernilai 1 FEUs (1 *reefer container*). Blok B memiliki kapasitas 240 TEUs atau setara dengan 120 *reefer container* 40 feet. Pada penelitian ini juga diasumsikan 50% *reefer container* dalam kondisi *chilled* dan 50% *reefer container* pada kondisi *froze*.

$$\begin{aligned}
 \text{Froze konsumsi energi} &= \text{Kapasitas} \times \text{Konsumsi energi 1 hari} \\
 \text{Blok B} &= 60 \times 133,38 \text{ kWh/d} \\
 &= 8002,8 \text{ kWh/d} \\
 \text{Chilled konsumsi energi} &= \text{Kapasitas} \times \text{Konsumsi energi 1 hari} \\
 \text{Blok B} &= 60 \times 187,13 \text{ kWh/d} \\
 &= 11227,8 \text{ kWh/d} \\
 \text{Total konsumsi energi} &= \text{Froze} + \text{Chilled} \\
 \text{Blok B} &= 8002,8 \text{ kWh/d} + 11227,8 \text{ kWh/d} \\
 &= 19230,66 \text{ kWh/d}
 \end{aligned}$$

Tabel 4. 4 Konsumsi Energi *Reefer Container* Setiap Blok

Blok	Capacity (TEUs)	Total Reefer Container	Energy Consumption (kWh)	Energy Consumption/day (kWh/d)
B	240	120	801,28	19230,66
C	156	78	520,83	12499,93
D	128	64	427,35	10256,35
E	128	64	427,35	10256,35
Q	184	92	614,31	14743,51
Y	120	60	400,64	9615,33
Jumlah	956	478	3191,76	76602,13

#### 4.4 Simulasi Energi

Dalam simulasi yang dilakukan menggunakan RETScreen Clean Energy Project Analysis Software. Simulasi menentukan dimana proyek dilaksanakan, analisa energi, dan analisa emisi.

##### 4.5.1. Menentukan Lokasi

Dalam simulasi hal pertama yang harus dilakukan adalah menentukan lokasi. Lokasi penelitian dilakukan di PT. Terminal Petikemas Surabaya, Tanjung Perak, Surabaya, Jawa Timur, Indonesia.


Kondisi daerah acuan

Lokasi data iklim: Indonesia - Surabaya/Juanda Mil

Lokasi fasilitas: Indonesia - Jawa Timur - Surabaya

**Legenda**

- Lokasi fasilitas
- Lokasi data iklim



**Unit**

	Lokasi data iklim	Lokasi fasilitas	Sumber
Garis lintang	-7,4	-7,2	
Garis bujur	112,8	112,7	
Zona iklim	OA - Luar biasa panas - Lembap		
Ketinggian	m	3	4
Suhu rancangan pemanasan	°C	21,8	
Suhu rancang pendinginan	°C	33,6	
Suhu bumi amplitudo	°C	7,4	

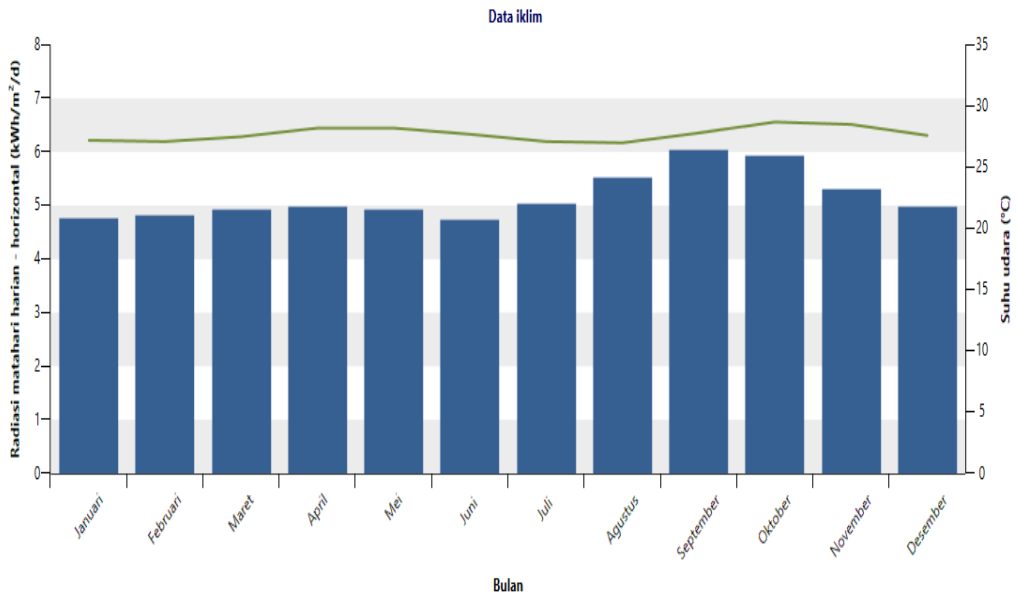
Sumber: Tanah + NASA, Tanah - Peta, Tanah, Tanah, NASA

Gambar 4. 2 Menentukan Lokasi Penelitian

Dalam penentuan lokasi di software RETScreen beberapa data pendukung seperti zona iklim, suhu udara, curah hujan, radiasi matahari, tekanan atmosfer, laju angin, dan suhu bumi didapatkan dari NASA. Penentuan lokasi menampilkan data-data diatas yang nantinya digunakan untuk analisa energi pada sub-bab selanjutnya. Data-data ditampilkan dalam 1 tahun setiap bulannya.

Bulan	Suhu udara °C	Kelembaban relatif %	Curah hujan mm	Radiasi matahari		Tekanan atmosfer kPa	Laju angin m/k	Suhu bumi °C	Derajat pemanasan - hari 18 °C	Suhu pendinginan-hari 10 °C
				harian - horizontal kWh/m <sup>2</sup> /d					°C-d	°C-d
Januari	27,2	82,3%	351,07	4,77		99,1	2,3	26,2	0	533
Februari	27,1	82,4%	318,79	4,82		99,1	2,7	26,0	0	479
Maret	27,5	82,2%	311,28	4,94		99,1	2,1	26,4	0	543
April	28,2	79,0%	194,03	4,98		99,1	2,3	26,4	0	546
Mei	28,2	76,6%	109,89	4,92		99,2	2,5	25,8	0	564
Juni	27,7	75,4%	56,24	4,73		99,2	2,7	25,2	0	531
Juli	27,1	73,4%	38,85	5,03		99,3	2,7	25,0	0	530
Agustus	27,0	70,6%	18,30	5,54		99,3	2,9	25,9	0	527
September	27,8	68,3%	22,45	6,05		99,3	3,0	27,0	0	534
Oktober	28,7	69,0%	104,08	5,94		99,2	2,6	27,6	0	580
November	28,5	75,3%	198,41	5,30		99,1	2,1	27,0	0	555
Desember	27,6	79,6%	326,76	4,99		99,1	2,2	26,4	0	546
<b>Tahunan</b>	<b>27,7</b>	<b>76,1%</b>	<b>2.050,15</b>	<b>5,17</b>		<b>99,2</b>	<b>2,5</b>	<b>26,2</b>	<b>0</b>	<b>6.467</b>
<b>Sumber</b>	Tanah	Tanah	NASA	NASA		NASA	Tanah	NASA	Tanah	Tanah
Diukur pada							m	10	0	

Gambar 4. 3 Beberapa data pendukung dari NASA dan Tanah.



Gambar 4. 4 Grafik Data Iklim

Pada grafik dan data diatas diketahui bahwa radiasi tinggi matahari terjadi pada bulan Agustus hingga Oktober dengan puncaknya terjadi pada bulan September dengan nilai 6,05 kWh/m<sup>2</sup>/d. Tingginya radiasi matahari pada bulan-bulan tersebut dapat dimanfaatkan dan dioptimalkan untuk energi dari solar panel. Sedangkan radiasi rendah matahari terjadi pada bulan Juni dengan nilai 4,73 kWh/m<sup>2</sup>/d.

#### 4.5.2. Analisa Energi

Analisa energi merupakan salah satu bagian dari Software RETScreen Clean Energy Project Analysis yang bertujuan untuk mengevaluasi penelitian yang dilakukan.

Dalam upaya memaksimalkan penyerapan solar oleh solar panel, direkomendasikan untuk menggunakan kemiringan optimal pada pemasangan modul solar panel ketimbang memasangnya secara horizontal. Selain untuk mengoptimalkan penyerapan solar, kemiringan pada modul solar berguna untuk pembersihan mandiri dari debu polusi di permukaan modul solar dengan menggunakan air hujan, karena rugi yang ditimbulkan pada modul solar yang kotor akan lebih besar ketimbang pemasangan modul solar dengan tidak menggunakan sudut yang optimal (ESMAP, 2017).

Surabaya sendiri terletak pada bagian bawah garis khatulistiwa, oleh karena itu modul solar harus diarahkan menghadap utara baik dengan menggunakan kemiringan diatur maupun tetap. Dalam menentukan tingkat kemiringan modul solar peneliti menggunakan jurnal yang diterbitkan oleh Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP).

**Resource assessment**

Solar tracking mode: Fixed

Slope: 0

Azimuth: 0

▼ Show data

**Photovoltaic**

Type: mono-Si

Power capacity: kW 0

Manufacturer: [empty]

Model: [empty]

Number of units: [empty]

Efficiency: % [empty]

Nominal operating cell temperature: °C 45

Temperature coefficient: % / °C 0,4%

Solar collector area: m² [empty]

Miscellaneous losses: % [empty]

**Inverter**

Efficiency: % [empty]

Capacity: kW [empty]

Miscellaneous losses: % [empty]

**Summary**

Capacity factor: % [empty]

Initial costs: IDR/kW [empty]

O&M costs (savings): IDR/kW-year [empty]

Electricity export rate: Electricity exported to grid - annual

Electricity exported to grid: kWh 1.467

Electricity export revenue: IDR 0

Gambar 4. 5 Lembar Kerja Analisa Energi RETScreen

	Binjai	Jambi	Jakarta	Pontianak	Surabaya	Kupang	Manado	Jayapura
PVOUT								
Average daily total [kWh/kWp]	3.52	3.41	3.58	3.62	4.05	4.47	3.80	3.69
PVOUT								
Yearly total [kWh/kWp]	1287	1246	1309	1323	1480	1633	1389	1348
Optimum angle	2°	5°	10°	4°	12°	14°	1°	4°
PV system azimuth	180°	0°	0°	0°	0°	0°	180°	0°
Annual ratio of DIF/GHI	56.7%	61.8%	57.2%	53.8%	45.0%	33.9%	46.1%	50.3%
System PR	75.7%	76.7%	75.9%	76.2%	75.1%	74.9%	76.4%	76.4%

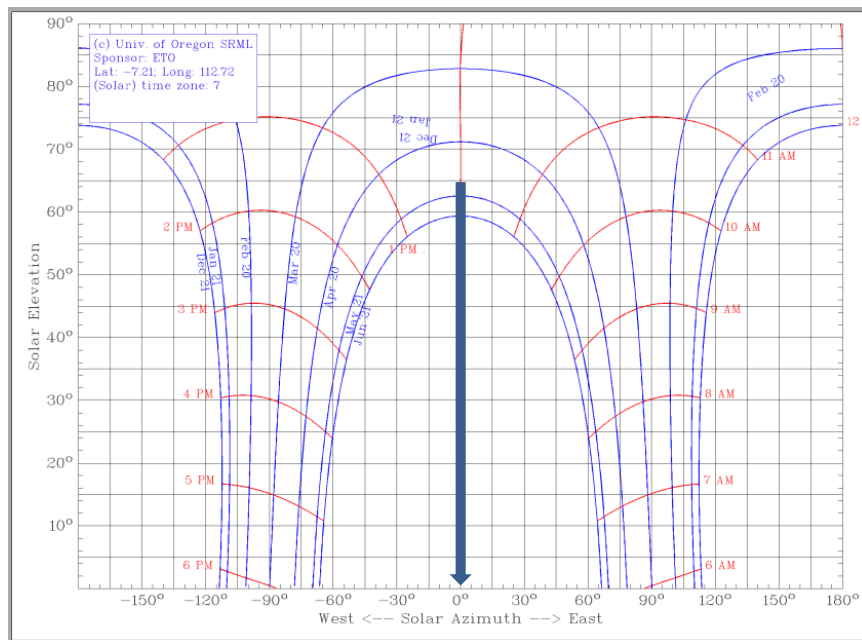
PVOUT - PV electricity yield for fixed-mounted modules at optimum angle; DIF/GHI - Ratio of diffuse/global horizontal irradiation; PR - Performance ratio for fixed-mounted PV

Gambar 4. 6 Parameter performa Solar Panel Sistem  
(Sumber: ESMAP, 2017)

Azimuth merupakan sudut kompas matahari saat bergerak melalui langit dari timur ke barat. Dalam menentukan azimuth matahari, peneliti menggunakan Sun Path Chart Program from University of Oregon dengan memasukkan latitude dan longitude



Surabaya. Sun Path Chart Program menunjukkan sudut azimuth matahari di Surabaya adalah  $0^\circ$ .



Gambar 4. 7 Program Pergerakan Matahari Surabaya  
(Sumber: <http://solardat.uoregon.edu/SunChartProgram.html>)

Berdasarkan peraturan menteri ESDM No. 31 Tahun 2004 dan No. 9 Tahun 2015, terdapat 12 golongan yang besaran tarif tenaga listriknya disesuaikan. PT. Terminal Petikemas Surabaya sendiri memasuki golongan B-3/TM atau Bisnis Besar dengan biaya pemakaian per kWh nya adalah Rp. 1.114,74/kWh. Namun berdasarkan data lapangan pembayaran listrik tahun 2018 hingga 2019, PT. Terminal Petikemas Surabaya membayar biaya pemakaian per kWh nya adalah Rp. 1.255/kWh. Dalam hal ini peneliti menggunakan data pembayaran listrik yang terjadi di lapangan yaitu Rp. 1.255/kWh.

Electricity	
Type	Electricity export rate - annual <span>+</span>
Description	Electricity exported to grid - annual
Rate - unit	IDR/kWh <span>▼</span>
Rate - annual	1.255
	<span>-</span>

Gambar 4. 8 Biaya Listrik

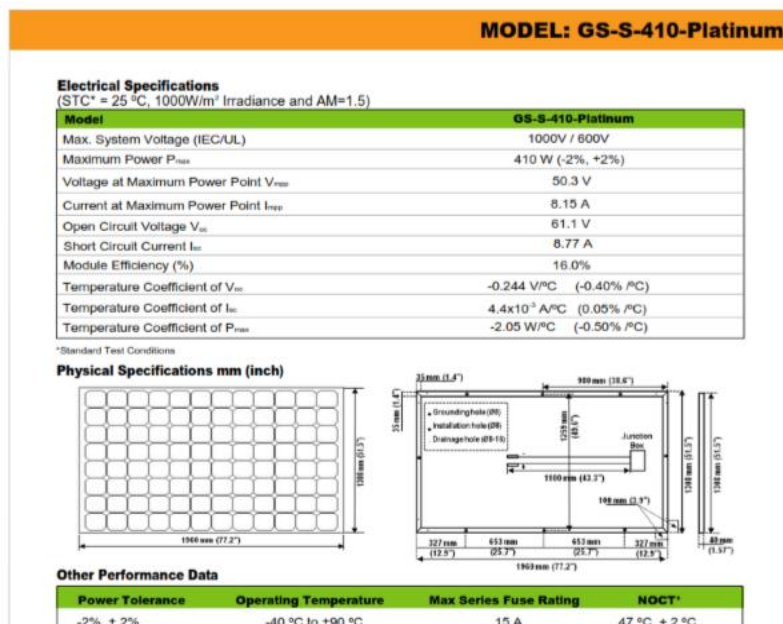
Pemilihan modul solar harus mempertimbangkan beberapa faktor penting yang mempengaruhi keluaran yang dihasilkan modul solar, salah satunya adalah efisiensi. Peneliti memilih mono-silicon sebagai modul solar yang dipakai selain karena memiliki efisiensi yang tinggi (14 - 17%) dibandingkan yang lainnya, mono-silicon juga sangat banyak dipakai dan digunakan dalam proyek besar seperti yang peneliti lakukan.

Bahan	Efisiensi di Laboratorium	Efisiensi dalam Produksi
Monocrystalline Silicone	24%	14% - 17%
Polycrystalline Silicone	18%	13% - 15%
Amorphous Silicone	13%	5% - 7%

Gambar 4. 9 Efisiensi Modul Solar

(Sumber: <http://panelsuryaindonesia.com/konsep-panel-surya/25-solar-cellpertimbangan-pemilihan-material-bahan>)

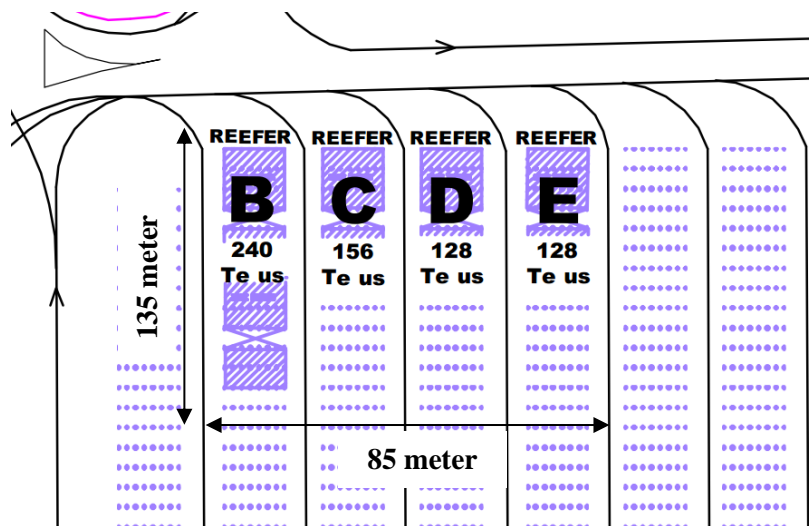
Karena besarnya konsumsi energi yang ada di PT. Terminal Petikemas, peneliti memilih modul solar yang memiliki kapasitas energi yang terbesar dan sudah tersedia di software RETScreen. Modul solar yang dipilih adalah Grape Solar GS-S-410-Platinum dengan kapasitas 410 watts/modul dan efisiensi 16%.



Gambar 4. 10 Spesifikasi Modul Grape Solar

(Sumber: Grape Solar Clean Power Today)

Dengan luas 14.105 m<sup>2</sup> pada CY blok B, C, D, dan E khusus *reefer container*, jumlah modul solar panel yang dapat ditempatkan di *solar panel roof* adalah 4480 modul dan memakan 11.480 m<sup>2</sup> untuk area *solar collector*.



Gambar 4. 11 Dimensi CY Blok B  
(Sumber: PT. Terminal Petikemas Surabaya)

Daya yang diterima modul solar dari matahari tidak semua masuk ke inverter secara baik karena dipengaruhi oleh rugi-rugi/losses komponen dan sistem (Bien, Kasim, & Wibowo, 2008).

Tabel 4. 5 Rugi-rugi lainnya.

Rugi-rugi	%	Peneliti Ambil (%)
Rugi polusi, kotoran dan debu	3,5	
Rugi suhu modul solar	1,5 – 13,0	5,5
Rugi kabel DC	2,0	
Rugi kabel AC	0,5	
Jumlah Rugi		11,5

(Sumber: ESMAP, 2017)

Inverter berfungsi mengubah arus searah menjadi arus bolak balik. Inverter yang berhubungan langsung dengan beban listrik mempunyai kapasitas kerja dalam satuan watt. Penentuan kapasitas inverter harus berdasarkan spesifikasi input beban, dimana spesifikasi input beban adalah 3 phase dengan 380 volt dan frekuensi 50 Hz, dan penentuan kapasitas inverter harus lebih besar dari beban maksimum yang dibebani.

Items	SPI250K-A	SPI500K-A
DC Input		
Max. PV Power (kW)	280	560
Max. PV Input Voltage (Vdc)	1000	
Max. PV Input Current (A)	600	1200
PV Input String Number	4	8
No. of MPPTs	1	1
MPPT Voltage Range (Vdc)	460–850	
Start up Voltage (Vdc)	480	
MPPT Efficiency	99.90%	
AC Output		
Nominal AC Output Power (kW)	250	500
Max. Output Power (kW)	275	550
Max. Output current (A)	418	836
Nominal AC Voltage (Vac)	380	
Nominal Grid Frequency (Hz)	50/60	
Power Factor (nominal power)	>0.99	
Power Factor Adjustable Range	0.9 (leading)–0.9 (lagging)	
THDi	<3% (nominal power)	
Isolation Type	High efficient transformer	
Efficiency		
Max. Efficiency	>97.80%	
European Efficiency	>97.30%	

Gambar 4. 12 Spesifikasi Teknis Solar Inverter.  
(Sumber: KEHUA TECH)

KEHUA TECH menjadi produk yang dipilih oleh peneliti untuk penelitian ini. Dengan spesifikasi daya masukan 280 kW dan daya keluaran 250 kW dengan 380 volt di 3 phase dan 50 Hz frekuensi, inverter ini memiliki efisiensi sebesar 97,3%.

#### Analisa sumberdaya

Modus pelacakan surya

Tetap

Kemiringan

12

Azimut

0

▼ Tunjukkan data

#### Sel surya

Tipe

mono-Si

Kapasitas daya

kW

1.836,8

Perusahaan manufaktur

Grape Solar

Model

mono-Si - GS-S-410-Platinum

Jumlah unit

4.480

Efisiensi

%

16%

Suhu operasi sel nominal

°C

45

Koefisien suhu

% / °C

0,4%

Area kolektor surya

m<sup>2</sup>

11.480

Kerugian lainnya

%

11,5%

#### Pembalik

Efisiensi

%

97,3%

Kapasitas

kW

280

Kerugian lainnya

%

0%

Harga ekspor listrik	Listrik yang diekspor ke jaringan - tahunan ▾	
	IDR/kWh	1.255
Listrik yang diekspor ke jaringan	kWh ▾	2.610.807
Pendapatan ekspor listrik	IDR	3.276.563.067

Gambar 4. 13 Analisa Energi RETScreen.

Setelah mendapatkan semua data yang dibutuhkan untuk menganalisa pemanfaatan energi oleh modul solar panel, data-data tersebut di input kedalam software RETScreen. Ketika semua data sudah diinput kedalam software RETScreen, RETScreen otomatis menghitung energi yang dihasilkan dari modul solar selama 1 tahun dan harga biaya yang dihemat sebagai revenue. Energi yang dihasilkan selama 1 tahun sebesar 2.610.807 kWh dengan biaya yang dihemat sebesar Rp. 3.276.563.067

#### 4.5.3. Instalasi Sistem Solar Panel

Konfigurasi diperlukan untuk menentukan solar panel dipasang secara paralel, seri atau keduanya. Ada beberapa persyaratan untuk menentukan konfigurasi instalasi solar panel;

- Pararel  $= I_{PV} < I_{INV}$
- Seri  $= V_{PV} < V_{INV}$
- Total Unit  $= \text{Pararel} \times \text{Seri}$

Dalam perencanaan, peneliti menggunakan 8 solar inverter sejenis, maka konfigurasi dilakukan pada 1 inverter saja. Konfigurasi dapat ditentukan dengan kalkulasi;

- Total Unit  $= 560 \text{ unit}$
- Pararel  $= 8,15 \text{ A} < 600 \text{ A}$   
 $= 56 \text{ unit}$

Akan dilakukan *crosscheck* apakah arus pada 56 unit solar panel terkonfigurasi paralel melebihi 600 A.

$$\begin{aligned} \text{Crosscheck} &= 8,15 \times 56 \\ &= 456,4 \text{ A} \end{aligned}$$

- Seri  $= 50,3 \text{ V} < 1.000 \text{ V}$   
 $= 10 \text{ unit}$

Akan dilakukan *crosscheck* apakah arus pada 10 unit solar panel terkonfigurasi seri melebihi 1000 V.

$$\begin{aligned} \text{Crosscheck} &= 50,3 \times 10 \\ &= 503 \text{ V} \end{aligned}$$

- Total unit  $= 56 \text{ paralel} \times 10 \text{ seri}$   
 $= 560 \text{ unit}$

Diketahui dari pemanfaatan energi sistem solar panel pada ketiga kondisi bahwa energi yang dihasilkan oleh solar panel tidak dapat memenuhi seluruh kebutuhan konsumsi energi yang dibutuhkan oleh total *reefer container*, sehingga masih membutuhkan distribusi energi lain yang berbeda untuk memenuhi total kebutuhan.

Instalasi Off-Grid tidak bisa diterapkan dalam penelitian ini karena sistem solar panel belum bisa mencukupi seluruh kebutuhan yang dibutuhkan, sehingga instalasi On-Grid atau Hybrid lebih disarankan untuk tetap memenuhi kebutuhan konsumsi energi dari *reefer container* yang cukup besar sehingga PLN grid dibutuhkan untuk membantu memenuhi kebutuhan energi yang kurang.

Sistem solar panel merupakan energi terbarukan yang bersifat *intermiten* atau tidak terus menerus dapat menghasilkan energi (tidak stabil). Sistem solar panel menghasilkan energi ketika cuaca cerah atau terdapat cahaya yang masuk namun ketika langit mendung dan tidak ada cahaya yang masuk, solar panel tidak menghasilkan energi secara maksimal bahkan tidak menghasilkan energi sekalipun.

Sehingga peneliti memilih untuk menggunakan baterai untuk menyimpan energi yang dihasilkan oleh sistem solar panel saat siang hari dan energi yang tersimpan digunakan pada malam hari, ini dapat mengurangi ketidakstabilan energi yang didistribusikan ke beban. Sehingga sistem instalasi yang digunakan pada penelitian kali ini adalah sistem hybrid dengan menggunakan PLN grid dan baterai.

#### 4.5.4. Energi Management

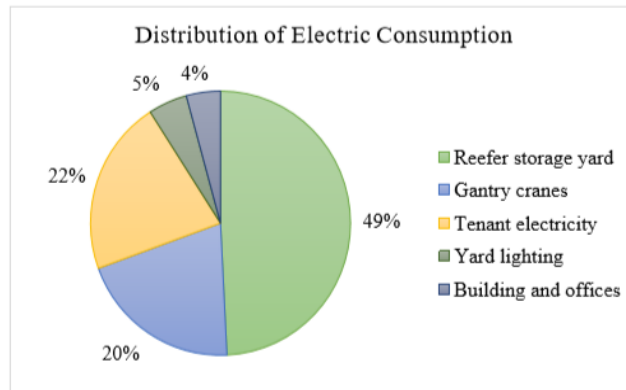
Solar panel tidak dapat menghasilkan energi secara *continuous*, solar panel akan menghasilkan energi jika ada cahaya/matahari yang menyinari (siang hari), namun ketika kondisi tidak ada cahaya/matahari yang menyinari (malam hari) solar panel tidak dapat menghasilkan energi begitupun ketika cahaya yang menyinari kurang/redup (mendung/hujan). Energi manajemen diperlukan untuk mengatur kapan energi dari PV mensuplai beban secara penuh ataupun sebagian dan kapan energi dari PLN grid mensuplai beban.

100% Energi solar panel	$= \text{Daya Output} \times \text{Rugi} \times \text{Jumlah Modul}$ $= 410 \text{ W} \times 0,115 \times 4.480$ $= 1.625.568 \text{ W}$ $= 1.625,568 \text{ kW}$
90% Solar Panel ke beban	$= 0,9 \times 1.625,568 \text{ kW}$ $= 1.463,011 \text{ kW}$
10% Solar panel ke baterai	$= 0,1 \times 1.625,568 \text{ kW}$ $= 162,56 \text{ kW}$

Beban reefer container pada CY di asumsikan pada 2 kondisi (*Frozen* dan *Chilled*) dan pada kapasitas CY yang berbeda-beda (LC/*Less Number Container*, NC/*Normal Number Container*, FC/*Full Number Container*). Pada kondisi *frozen* menggunakan energi sebanyak 5,7 kW dengan 50% dari kapasitas *reefer container* di CY dan kondisi *chilled* menggunakan energi sebanyak 10,52 kW dengan 50% dari kapasitas *reefer container* di CY. Jumlah *reefer container* pada kapasitas LC sebanyak 6 unit, NC sebanyak 112 unit, dan FC sebanyak 478 unit.

Tabel 4. 6 Cooling Plug-in Consumption

Condition	Number Cont.	Energy	Unit
*LC Cooling Plug-in Consumption =	6	26,82	kW
*NC Cooling Plug-in Consumption =	112	427,37	kW
*FC Cooling Plug-in Consumption =	478	1810,39	kW



Gambar 4. 14 Distribusi Konsumsi Energi Listrik  
(Sumber: Budiyanto, 2016)

Beban lain seperti office, penerangan dan crane dimasukkan kedalam manajemen energi. Besarnya konsumsi energi beban-beban lainnya diasumsikan berdasarkan dengan distribusi konsumsi energi dipelabuhan pada penelitian sebelumnya, dengan 4% digunakan oleh perkantoran, 5% digunakan oleh penerangan, dan 20% digunakan oleh crane.

Tabel 4. 7 Konsumsi Energi Beban Lain

Other Loads	%	Energy	Unit
Building and Office =	4% =	60,54	kW
Yard Lighting =	5% =	75,68	kW
Gantry Crane =	20% =	302,71	kW

Tabel 4. 8 Manajemen Energi Solar Panel *On-Grid* di *Reefer Container CY*

Power scheme	Load scheme		
	LC	NC	FC
<b>On-Grid (daytime only)</b>			
Daytime			
PV Power 100%	1625,57	1625,57	1625,57
Cooling Plug-in	26,82	427,37	1625,57
Office	60,54	60,54	60,54

Lighting	75,68	75,68	75,68
RTG	302,71	302,71	302,71
Remaining Energy	1159,82	759,27	0,00
PLN Grid			
Cooling Plug-in	0,00	0,00	184,83
Office	0,00	0,00	60,54
Lighting	0,00	0,00	75,68
RTG	0,00	0,00	302,71

Sistem *On-Grid* pada solar panel masih terhubung dengan jaringan PLN yang digunakan pada malam hari, namun untuk siang hari 100% menggunakan energi yang dihasilkan oleh solar panel. Dapat dilihat pada tabel diatas bahwa energi yang dihasilkan solar panel sebesar 1.626,57 kW dapat memenuhi kebutuhan energi pada kondisi beban LC dan NC, sisa energi dapat dijual ke jaringan PLN. Energi solar panel tidak dapat memenuhi kebutuhan energi pada kondisi FC dengan kebutuhan 183,83 kW untuk Cooling Plug-in reefer container dan energi penuh pada beban lain.

Tabel 4. 9 Managemen Energi Solar Panel *Hybrid* di *Reefer Container CY*

Power scheme	Load scheme		
	LC	NC	FC
<b>Hybrid</b>			
Daytime			
PV Power 90%	1463,01	1463,01	1463,01
Cooling Plug-in	26,82	427,37	1463,01
Office	60,54	60,54	0,00
Lighting	75,68	75,68	0,00
RTG	302,71	302,71	0,00
Remaining Energy	997,26	596,71	0,00
PLN Grid			
Cooling Plug-in	0,00	0,00	347,38
Office	0,00	0,00	60,54
Lighting	0,00	0,00	75,68
RTG	0,00	0,00	302,71
Nighttime			
Battery Power 10%	162,56	162,56	162,56
Cooling Plug-in	26,82	162,00	162,56



	Office	60,54	0,00	0,00
	Lighting	75,19	0,00	0,00
	RTG	0,00	0,00	0,00
	Remaining Energy	0,00	0,00	0,00
PLN Grid				
	Cooling Plug-in	0,00	265,37	1647,84
	Office	0,00	60,54	60,54
	Lighting	0,49	75,68	75,68
	RTG	302,71	302,71	302,71

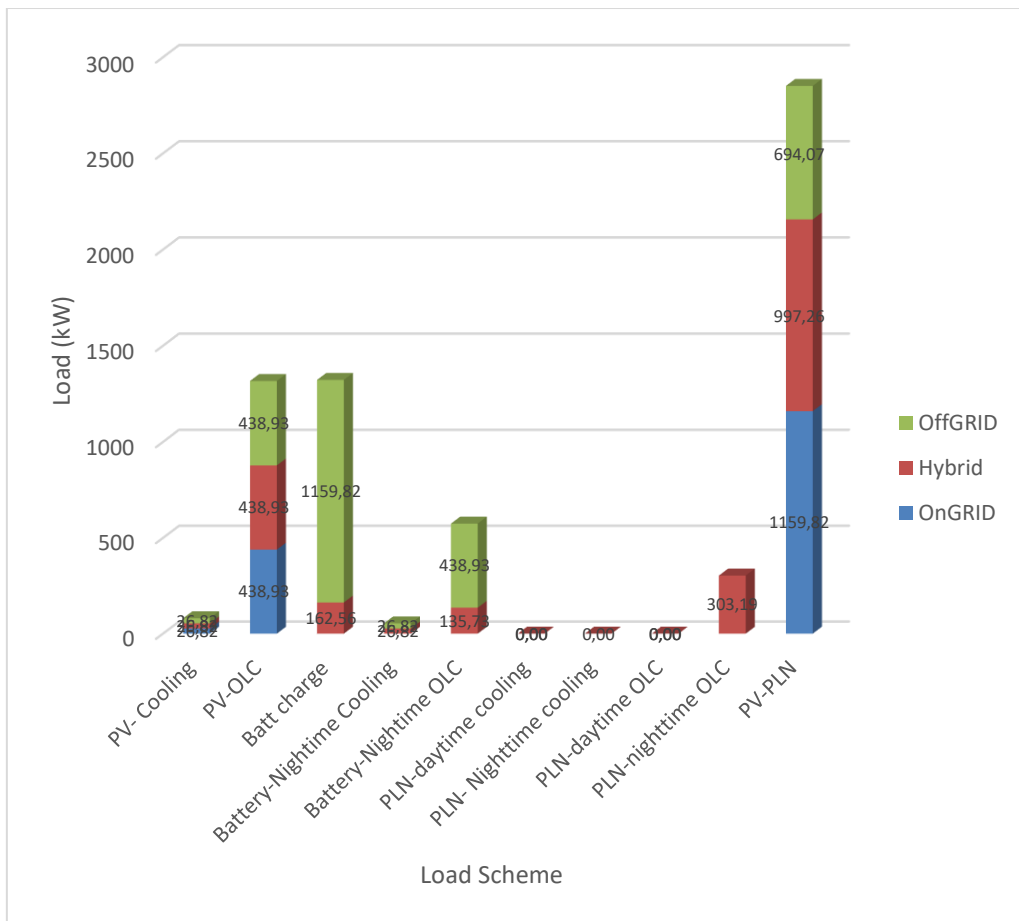
Sistem *Hybrid* pada solar panel terhubung dengan jaringan PLN dan menggunakan baterai sebagai sumber energi lain untuk membantu solar panel. Baterai digunakan untuk menyimpan 10% energi yang dihasilkan solar panel dan digunakan pada malam hari. Dapat dilihat pada tabel diatas bahwa 90% energi yang dihasilkan solar panel sebesar 1.463,01 kW dapat memenuhi kebutuhan energi pada kondisi beban LC dan NC di siang hari, sisa energi dapat dijual ke jaringan PLN. Pada kondisi FC energi solar panel tidak dapat memenuhi kebutuhan energi yang dibutuhkan oleh beban, pada siang hari beban *cooling plug-in* hanya dapat memenuhi 1.463,01 kW dari total kebutuhan 1.810,39 kW dan untuk beban lainnya tidak terpenuhi sehingga membutuhkan dukungan energi lain dari jaringan PLN. Pada malam hari baterai tidak dapat memenuhi kebutuhan seluruh energi pada 3 kondisi beban LC, NC, dan FC.

Tabel 4. 10 Managemen Energi Solar Panel *Off-Grid* di *Reefer Container CY*

Power scheme	Load scheme		
	LC	NC	FC
<b>Off-Grid</b>			
Daytime			
PV Power 100%	1625,57	1625,57	1625,57
Cooling Plug-in	26,82	427,37	1625,57
Office	60,54	60,54	0,00
Lighting	75,68	75,68	0,00
RTG	302,71	302,71	0,00
Remaining Energy	1160,30	759,27	0,00
Nighttime			
Cooling Plug-in	26,82	427,37	0,00
Office	60,54	60,54	0,00
Lighting	75,68	75,68	0,00
RTG	302,71	195,68	0,00

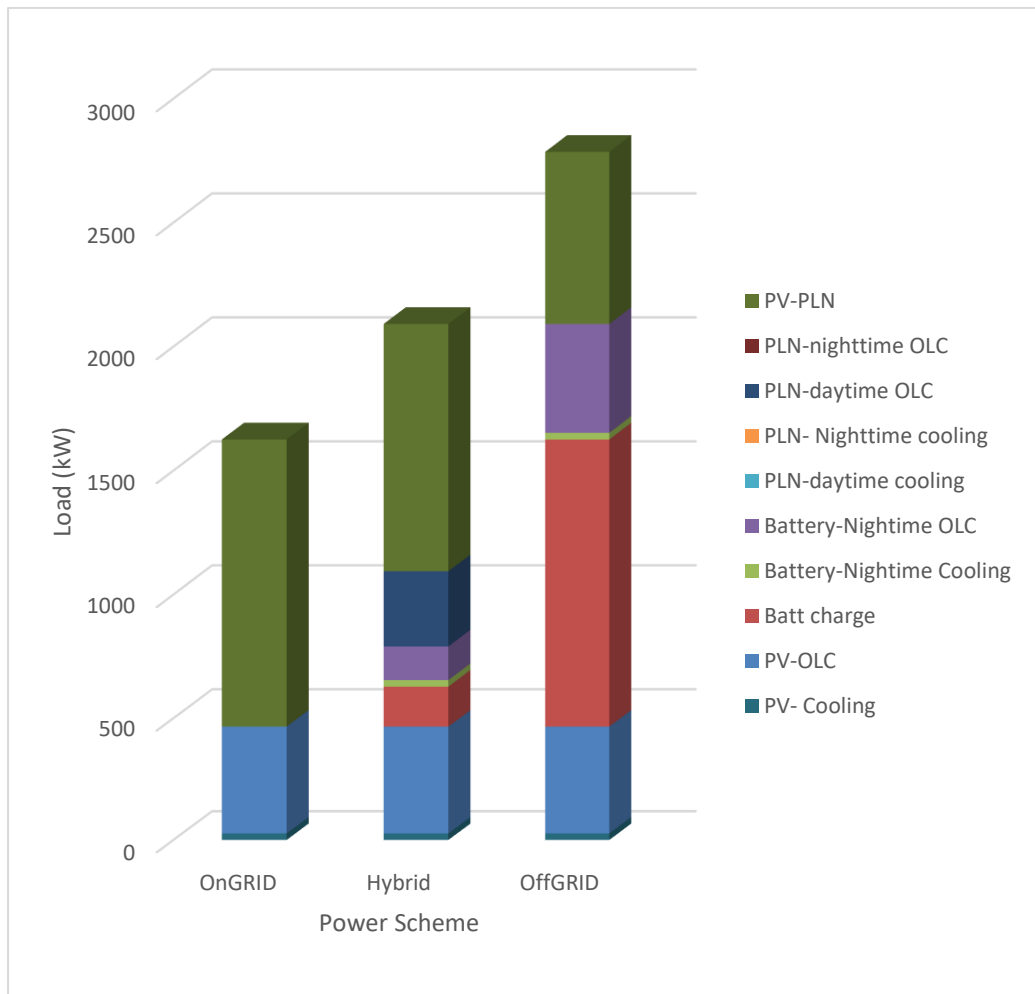
Remaining Energy	695,04	0,00	0,00
------------------	--------	------	------

Sistem Off-Grid pada solar panel sudah tidak terhubung dengan jaringan PLN, pada malam hari sistem Off-Grid menggunakan baterai untuk menyimpan energi sisa pemakaian pada siang hari. Dapat dilihat pada tabel diatas bahwa energi solar panel sebesar 1625,57 kW dapat memenuhi kebutuhan energi pada kondisi beban LC dan NC, sisa energi disimpan di baterai untuk selanjutnya digunakan pada malam hari. Pada kondisi LC energi yang tersimpan pada baterai dapat memenuhi seluruh kebutuhan beban dan masih menyisakan energi sebesar 695,04 kW. Pada kondisi NC energi yang tersimpan pada baterai hanya dapat memenuhi kebutuhan Cooling Plug-in, perkantoran dan penerangan secara penuh, RTG/Crane hanya terpenuhi sebesar 195,68 kW dari total kebutuhan 302,71 kW. Pada kondisi FC energi solar panel sebesar 1.625,57 kW tidak dapat memenuhi kebutuhan energi yang dibutuhkan oleh beban, pada siang hari beban *cooling plug-in* hanya dapat memenuhi 1.625,57 kW dari total kebutuhan 1.810,39 kW. Untuk beban lainnya tidak terpenuhi serta tidak ada sisa energi untuk disimpan dan digunakan pada malam hari.



Gambar 4. 15 Grafik Load Sceme Kondisi *Low Number Container* (LC)

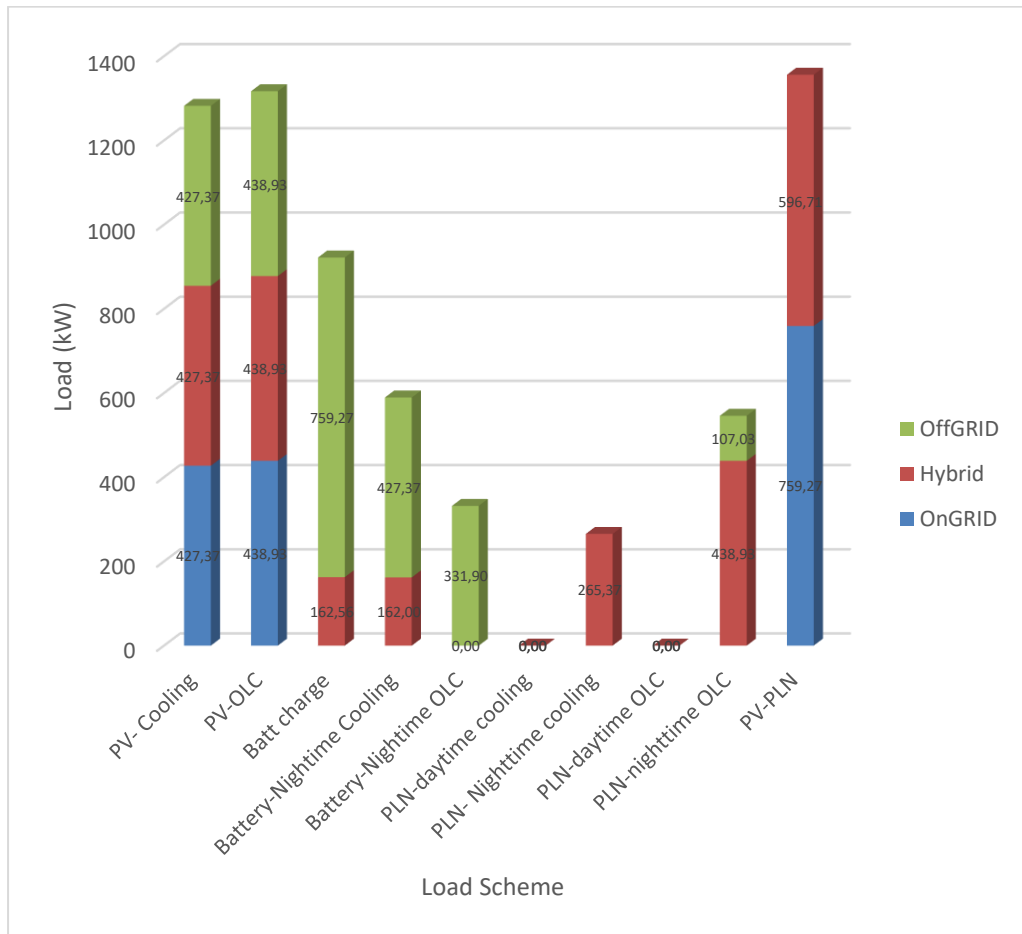
Pada kondisi *Low Number Container (LC)* gambar 4.15 seluruh konsumsi energi beban pada sistem On-Grid dan Off-Grid dapat dipenuhi oleh energi solar panel baik pada siang hari (On-Grid dan Off-Grid) maupun pada malam hari (Off-Grid). Pada sistem hybrid konsumsi energi beban hanya dapat dipenuhi oleh energi solar panel pada siang hari dan sebagian pada malam hari yaitu pada beban lain (RTG).



Gambar 4. 16 Grafik Power Scheme Kondisi *Low Number Container (LC)*

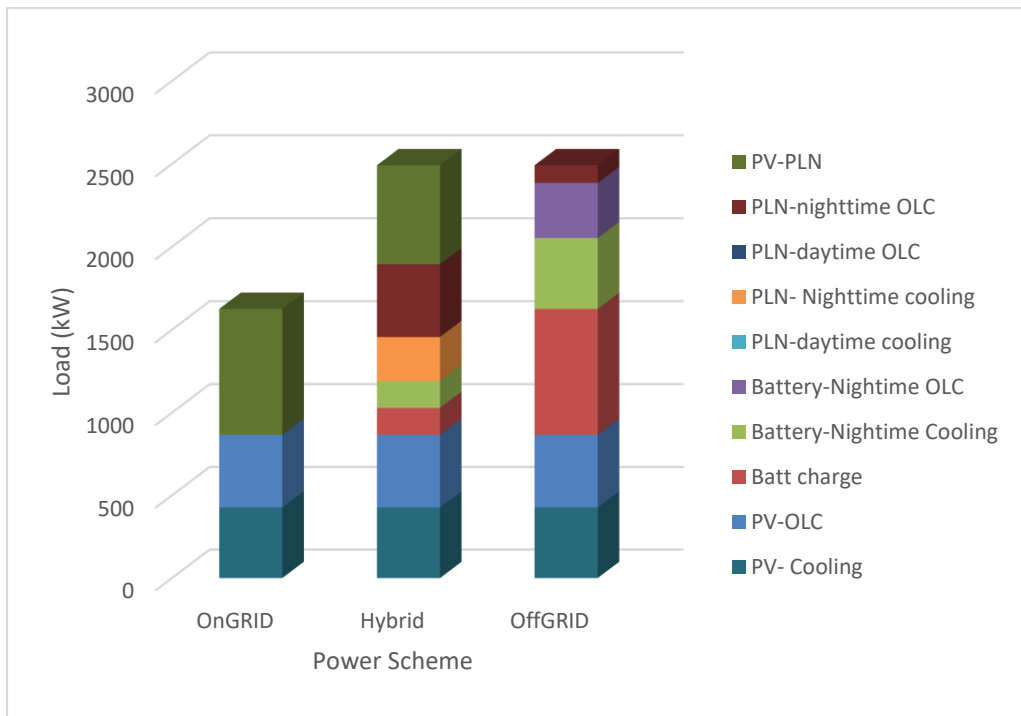
Pada kondisi *Low Number Container (LC)* gambar 4.16 sistem On-Grid pemanfaatan energi dari solar panel kurang maksimal karena beban cooling yang tidak begitu besar sehingga menyisakan energi tidak terpakai yang dijual ke jaringan PLN. Pada sistem hybrid pemanfaatan energi solar panel kurang maksimal karena beban cooling yang tidak begitu besar dan penyimpanan energi ke baterai hanya 10% sehingga pada malam hari 10% energi solar panel yang tersimpan di baterai tidak dapat mencukupi kebutuhan energi pada malam hari. Pada sistem Off-Grid pemanfaatan energi solar panel maksimal walaupun masih ada energi yang tersisa dan dijual ke jaringan PLN.

Pada kondisi *Normal Number Container (NC)* gambar 4.17 seluruh konsumsi energi beban pada sistem On-Grid dan Off-Grid dapat dipenuhi oleh energi solar panel pada siang hari, pada malam hari sistem Off-Grid tidak dapat memenuhi konsumsi energi beban, sehingga sistem off-grid tidak dapat diterapkan. Pada sistem hybrid konsumsi energi beban hanya dapat dipenuhi oleh energi solar panel pada siang hari dan sebagian pada malam hari yaitu pada beban cooling, beban lain tidak dapat terpenuhi sama sekali.

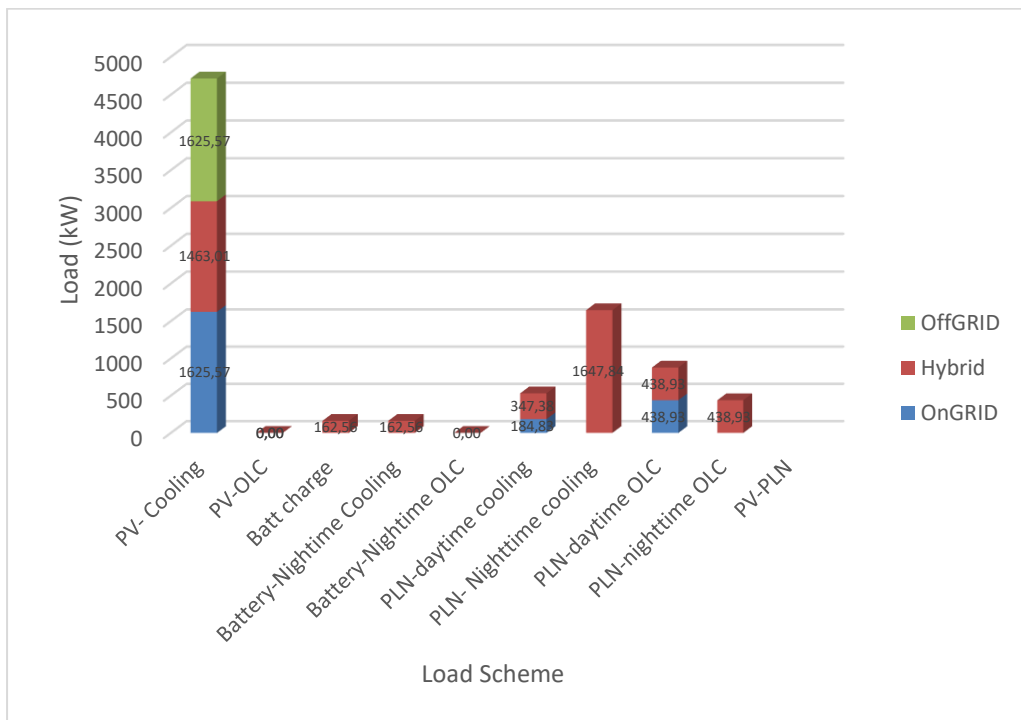


Gambar 4. 17 Grafik Load Sceme Kondisi Normal Number Container (NC)

Pada kondisi *Normal Number Container (NC)* gambar 4.18 sistem On-Grid pemanfaatan energi dari solar panel kurang maksimal karena beban cooling yang tidak begitu besar sehingga menyisakan energi tidak terpakai yang dijual ke jaringan PLN. Pada sistem hybrid pemanfaatan energi solar panel kurang maksimal karena beban cooling yang tidak begitu besar dan penyimpanan energi ke baterai hanya 10% sehingga pada malam hari 10% energi solar panel yang tersimpan di baterai tidak dapat mencukupi kebutuhan energi pada malam hari. Pada sistem Off-Grid energi solar panel termanfaatkan maksimal dan masih membutuhkan energi untuk beban lain pada malam hari.



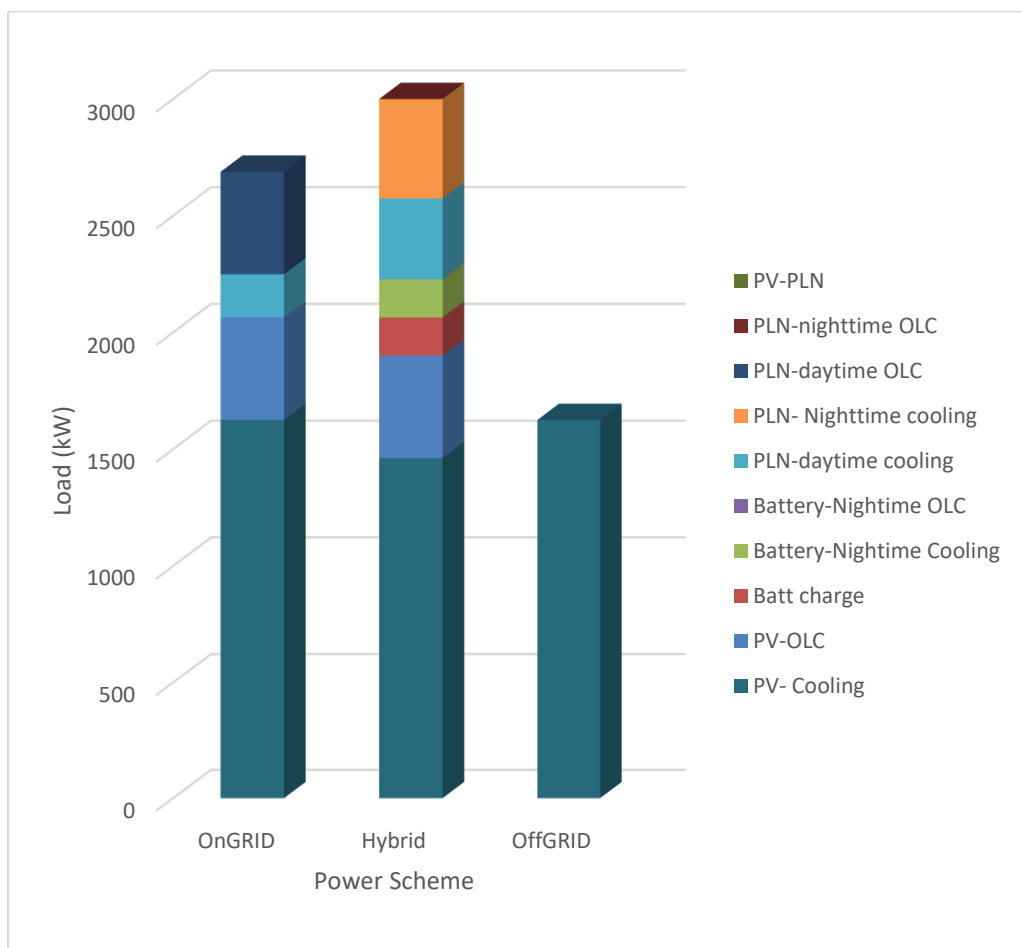
Gambar 4. 18 Grafik Power Scheme Kondisi Normal Number Container (NC)



Gambar 4. 19 Grafik Load Sceme Kondisi Full Number Container (FC)

Pada kondisi *Full Number Container* (FC) gambar 4.19 konsumsi energi beban tidak dapat terpenuhi pada ketiga sistem solar panel. Energi solar panel habis pada beban cooling dan masih membutuhkan energi lain untuk memenuhinya sehingga beban lain tidak dapat mendapatkan energi solar panel sama sekali. Untuk sistem Off-Grid tidak dapat diterapkan karena energi solar panel tidak dapat mencukupi kebutuhan energi beban.

Pada kondisi *Full Number Container* (FC) energi dari solar panel dimanfaatkan secara maksimal pada ketiga sistem. Energi solar panel digunakan seluruhnya untuk memenuhi kebutuhan beban cooling pada ketiga sistem. Pada sistem hybrid 10% energy solar panel yang tersimpan dibaterai juga digunakan untuk memenuhi kebutuhan beban cooling pada malam hari.



Gambar 4. 20 Grafik Power Scheme Kondisi Full Number Container (FC)

#### 4.5.5. Performance Ratio

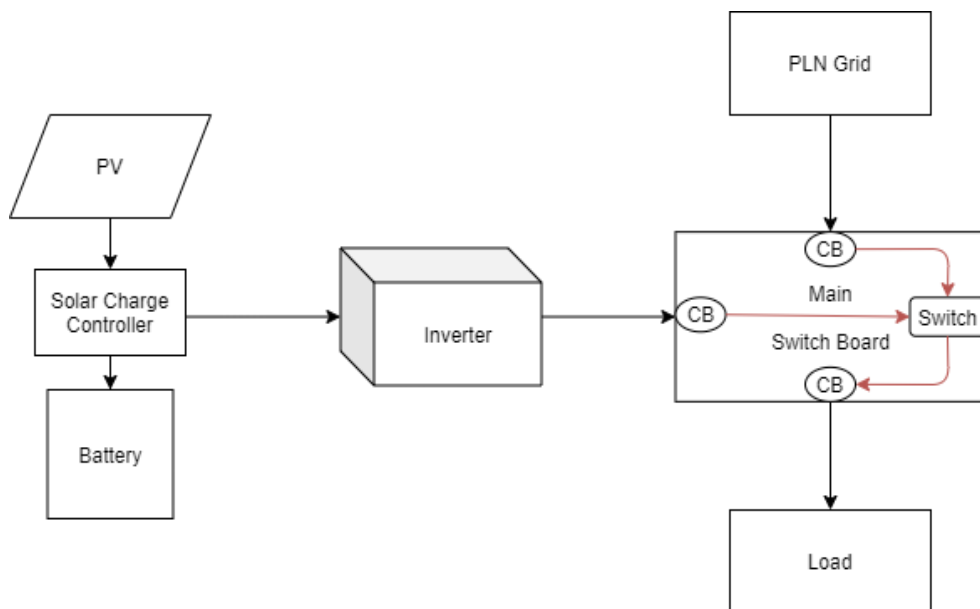
Dalam sub-bab ini peneliti melakukan perhitungan tentang performa dari Solar panel sistem yang terpasang. Performance Ratio (PR) merupakan ukuran kualitas sistem

solar panel dilihat dari keluaran energi yang dihasilkan setiap tahunnya. Sistem solar panel dapat dikatakan layak jika memiliki nilai Performance Ratio di 70% - 90%.

$$\begin{aligned}
 H_{\text{tilt}} &= \text{Peak Sun Hours} \times 365 \text{ days} \\
 &= 4,4 \times 365 \\
 &= 1.606 \\
 E. \text{ Ideal} &= P \text{ Module} \times \text{Number of Module} \times H_{\text{tilt}} \\
 &= 410 \times 4.480 \times 1.606 \\
 &= 2.949.900.800 \text{ Wh/tahun} \\
 &= 2.949.900,8 \text{ kWh/tahun} \\
 \text{Performance Ratio} &= E \text{ System} / E \text{ Ideal} \\
 &= 2.610.807,00 / 2.949.900,8 \\
 &= 0,8850 = 88,50\%
 \end{aligned}$$

#### 4.5.6. Diagram Skema Sistem Solar Panel

Dalam instalasi sistem solar panel didapatkan bahwa inslatasi menggunakan sistem *hybrid* yang membutuhkan dukungan energi lain selain solar panel sendiri yaitu PLN dan baterai. Dari aplikasi tersebut membutuhkan Mains Switch Board (MSB). Didalam MSB tersebut terdapat 3 komponen utama yaitu *circuit breaker* dan *switch*. Konfigurasi diagram sekma sistem solar panel dapat dilihat pada gambar 4. 14.



Gambar 4. 21 Diagram Skema Sistem Solar Panel

#### 4.5.7. Komponen Pendukung Sistem Solar Panel

Solar panel menghasilkan energi dari intensitas sinar matahari yang kemudian digunakan untuk mendukung energi utama yang gunakan oleh beban/*reefer container* (PLN). Energi perlu ditransmisikan dari solar panel menuju ke beban. Terdapat beberapa komponen dalam mendukungnya proses transmisi energi yang terjadi seperti Solar Charge Controller (SCC), Baterai, kabel dan *circuit breaker*.

#### 4.5.8.1. Solar Charge Controller

Solar charge controller merupakan tempat mengatur arus searah yang diisi ke baterai dan diambil dari baterai ke beban, selain itu solar charge controller mengatur overcharging dan kelebihan voltase dari solar panel. Karena keterbatasan spesifikasi solar charge controller sehingga perlu dibatasi jumlah solar panel dalam 1 solar charge controller. Penulis membatasi 25 solar panel dalam 1 solar charge controller. Pemilihan solar charge controller perlu memperhatikan beberapa hal yaitu, nominal arus yang sesuai dengan baterai, voltase range solar panel, serta arus maximum yang dapat diperoleh nilainya dengan formula seperti dibawah ini;

$$\begin{aligned}
 \text{Daya Solar Controller} &= \text{PV Isc} \times \text{Jumlah Solar Panel} \\
 &= 8,77 \times 28 \\
 &= 245,56 \text{ ampere}
 \end{aligned}$$

Wall Mount/Tower Model	SCM-480150	SCM-480200	SCM-480300
Rack Mount Model			
INPUT (Configuration of PV in			
V <sub>mp</sub> of PV*	340 - 440 Vdc		
Tracking voltage range	192 - 440 Vdc		
V <sub>oc</sub> of PV*	< 552 Vdc		
Maximum current	150 A	200 A	300 A
Maximum PV power**	60.6 kWp	82.6 kWp	121.1 kWp
OUTPUT (at 25°C)			
Nominal battery voltage	480 Vdc		
Boost charging voltage	520.0 - 600.0 Vdc		
Float charging voltage	480.0 - 560.0 Vdc		
Low voltage alarm	400.0 - 480.0 Vdc		
Low voltage cut off (signal)	396.0 - 476.0 Vdc		
Reconnect voltage (signal)	460.0 - 540.0 Vdc		
BATTERY			
Type	Deep cycle lead acid (LA)		
EFFICIENCY			
Charger peak efficiency	> 98%		

Gambar 4. 22 Spesifikasi Teknis Solar Charge Controller  
(Sumber: LEONICS)

#### 4.5.8.2. Baterai

Baterai dalam hal ini merupakan tempat menyimpan energi yang dihasilkan oleh solar panel. 10% energi solar panel yang dihasilkan disimpan di baterai. Jumlah baterai yang dibutuhkan untuk mendukung energi yang dihasilkan solar panel dapat ditentukan dengan formula;



$$\begin{aligned}
 \text{Battery Power} &= 10\% \text{ PV Energy Output 1 Day} \\
 &= 0,1 \times 7.152.896 \\
 &= 715.289,6 \text{ Wh}
 \end{aligned}$$

Baterai Bank konfigurasi digunakan untuk meningkatkan Ah atau volt pada baterai dengan merangkai seri atau parallel beberapa baterai. Dengan rangkaian seri volt baterai bertambah namun Ah tidak berubah, sedangkan rangkaian paralel Ah baterai bertambah namun volt tidak berubah. Dalam penelitian ini, peneliti merangkai 10 baterai, 5 rangkaian paralel dan 3 seri dengan spesifikasi awal 200 Ah 12 volt. Sehingga spesifikasi akhir dari konfigurasi baterai bank menjadi 1000 Ah 36 volt.

$$\begin{aligned}
 \text{Ah Required} &= \text{Battery Power} / \text{Battery V} \times \text{Power Factor} \\
 &= 715.289,6 / 36 \times 0,90 \\
 &= 22.076,84
 \end{aligned}$$

Depth of Discharge (DOD) diberlakukan pada baterai sesuai dengan ketentuan penggunaan deep cycle battery yang hanya di-discharge sebanyak 50% dari kapasitas totalnya, maka nilai Ah baterai yang didapat kita kalikan 2 (Togan P, 2009). Maka kapasitas baterai adalah;

$$\begin{aligned}
 \text{Ah Battery Required} &= 2 \times \text{Ah Required} \\
 &= 2 \times 22.076,84 \\
 &= 44.153,68
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Number of Battery} &= \text{Ah Battery Req} / \text{Ah Battery Catalog} \\
 &= 44.153,68 / 1.000 \\
 &= 44,153 \\
 &= 45 \text{ battery bank}
 \end{aligned}$$

#### 4.5.8.3. Kabel

Kabel merupakan tempat energi di transmisikan dari solar panel menuju ke beban, dan menghubungkan satu komponen ke komponen yang lainnya. Karena perbedaan arus yang diterima pada setiap komponen, perlu adanya perhitungan untuk menentukan diameter dan *cross-sectional* kabel yang aman digunakan.

Tabel 4. 11 *Capability of Conductivity Electrical Cables*

Diameter (mm)	Cross-Sectional Area (mm <sup>2</sup> )	Nominal Current (A)	Maximum Current (A)
1,128665296	1	6	11
1,382327033	1,5	10	14
1,784576526	2,5	15	20
2,257330592	4	20	25
2,764654066	6	25	31
3,569153051	10	35	43
4,514661184	16	60	75

5,643326480	25	80	100
6,677273939	35	100	125
7,980868845	50	125	160
9,443091365	70	160	200
11,000868520	95	200	240
12,363908850	120	250	280
13,823270330	150	300	325
15,351507740	185	350	380
17,485207580	240	400	450
19,549056370	300	450	470
22,573305920	400	500	570
25,237723260	500	600	660

(Sumber: <http://teguhpati.blogspot.com>)

Perhitungan menentukan diameter kabel menggunakan arus nominal. Arus nominal dengan kalkulasi seperti yang peneliti lakukan;

- Kabel dari solar panel menuju solar inverter  
Solar panel menghasilkan arus DC sehingga,  
Arus Nominal (I)  $= P/V$   
 $= 280 \text{ kW} / 1.000 \text{ v}$   
 $= 280.000 \text{ W} / 1.000 \text{ v}$   
 $= 280 \text{ A}$   
Sehingga dapat ditentukan,  
*Cross-diameter* kabel  $= 150 \text{ mm}^2$   
Diameter kabel  $= 13,823 \text{ mm}$
- Kabel dari Inverter menuju beban/*reefer container*  
Inverter merubah arus DC dari solar panel menjadi arus AC sehingga,  
Arus Nominal (I)  $= P / (\sqrt{3} \times V \times \text{Power Factor})$   
 $= 250 \text{ kW} / (\sqrt{3} \times 380 \times 0,85)$   
 $= 250.000 \text{ W} / (\sqrt{3} \times 380 \times 0,85)$   
 $= 446,87 \text{ A}$   
Sehingga dapat ditentukan,  
*Cross-diameter* kabel  $= 300 \text{ mm}^2$   
Diameter kabel  $= 19,549 \text{ mm}$

#### 4.5.8.4. Circuit Breaker

*Circuit breaker* merupakan saklar otomatis yang berfungsi untuk mencegah kerusakan yang terjadi pada sirkuit listrik karena adanya hubungan singkat/*short circuit* dan beban berlebih/*overload*.

Tabel 4. 12 Hambatan pada kabel.

Conductor Nominal Cross- Sectional Area (mm <sup>2</sup> )	Maximum Resistance of Copper Conductors at 20°C ( $\Omega$ /km)
0,5	36
0,75	24,5
1	18,1
1,5	12,1
2,5	7,41
4	4,61
6	3,08
10	1,83
16	1,15
25	0,727
35	0,524
50	0,387
70	0,268
95	0,193
120	0,153
150	0,124
185	0,0991
240	0,0754
300	0,0601
400	0,047
500	0,0366
630	0,0221
1.000	0,0176
2.000	0,009

(Sumber: BS 6360, 1991)

Dalam menentukan *circuit breaker* yang digunakan, digunakan arus nominal dan *short circuit breaking capacity* yang dikalkulasi seperti yang peneliti lakukan;

- *Circuit breaker* for PLN
  - Power Capacity = 66.000 W
  - Voltage = 380 v
  - Arus Nominal (I) =  $P/V$   
= 66.000 W/380 V  
= 173, 68 A
  - Cross Sectional Cable = 95 mm<sup>2</sup>
  - Diameter Cable = 1,1 mm
  - Cable Length = 0,5 km

$$\begin{aligned}
 R_{\text{Cable}} &= \text{Maximum Resistance of Copper} \\
 &\quad \text{Resistance} \times \text{Cable Length} \\
 &= 0,193 \times 0,5 \\
 &= 0,0965 \, \Omega
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Short Circuit Breaking Capacity (Icn)} \\
 \text{Icn} &= \text{Voltage/Tahanan} \\
 &= 380 \, \text{V} / 0,0965 \, \Omega \\
 &= 3937,82 \, \text{A} \\
 &= 3,94 \, \text{kA}
 \end{aligned}$$

Pemilihan cirtcuit breaker untuk arus PLN berdasarkan *rated ampere* dan kemampuan *short circuit breaking* yaitu, Schneider Electric NS250 dengan spesifikasi seperti berikut:

		NS100 to NS250		
				
Breaker Type		N	H	L
Number of poles		2,3,4	2,3,4	2,3,4
Current Range		15-250	15-250	15-250
Interrupting Ratings				
IEC 947-2 Icu/Ics ac 50/60 Hz●	220/240 Vac	85/85	100/100	150/150
	380/415 Vac	25/25	70/70	150/150
	440 Vac	25/25	65/65	130/130
	500 Vac	18/18	50/50	100/100
	525 Vac	18/18	35/35	100/100
	660/690 Vdc	8/8	10/10	75/75
DC Ratings	250 Vdc	50	50	50
	500 Vdc	50	50	50

Gambar 4. 23 *Circuit Breaker* untuk PLN  
(Sumber: Schneider Electric)

- Circuit breaker for Load
 
$$\begin{aligned}
 \text{Power Capacity} &= 222.300 \, \text{W} \\
 \text{Voltage} &= 380 \, \text{v} \\
 \text{Arus Nominal (I)} &= P/(\sqrt{3} \times V \times \text{Power Factor}) \\
 &= 222.300 \, \text{W}/(\sqrt{3} \times 380 \times 0,85) \\
 &= 397,52 \, \text{A}
 \end{aligned}$$

Cross Sectional Cable = 240 mm<sup>2</sup>  
 Diameter Cable = 17,485 mm  
 Cable Length = 0,5 km  
 R Cable = Maximum Resistance of Copper  
 Resistance x Cable Length  
 = 0,0754 x 0,5  
 = 0,0377  $\Omega$

Short Circuit Breaking Capacity (Icn)  
 Icn = Voltase/Tahanan  
 = 380 V / 0,0377  $\Omega$   
 = 10.079,57 A  
 = 10,079 kA

Pemilihan cirtcuit breaker untuk arus beban berdasarkan *rated ampere* dan kemampuan *short circuit breaking* yaitu, Schneider Electric NS400 dengan spesifikasi seperti berikut:

NS400 to NS630					
					
Breaker Type	N	H	L	H-DC	
Number of poles	3,4	3,4	3,4	3	
Current Range	150-630	150-630	150-630	400-600	
Interrupting Ratings					
IEC 947-2 Icu/Ics ac 50/60 Hz	220/240 Vac	85/85	100/100	150/150	...
	380/415 Vac	45/45	70/70	150/110	...
	440 Vac	42/42	65/65	130/130	...
	500 Vac	30/30	50/50	70/70	...
	525 Vac	22/22	35/35	50/50	...
	660/690 Vdc	10/10	20/20	35/35	...
DC Ratings	250 Vdc	...	...	...	85
	500 Vdc	...	...	...	85
Special Ratings					

Gambar 4. 24 *Circuit Breaker* untuk Beban  
(Sumber: Schneider Electric)

- Circuit breaker for Solar Inverter  
 Power Capacity = 280.000 W  
 Voltase = 1.000 v  
 Arus Nominal (I) = P/V  
 = 280.000 W/1.000 V  
 = 280 A

Cross Sectional Cable = 150 mm<sup>2</sup>  
 Diameter Cable = 13,82 mm  
 Cable Length = 0,5 km  
 R Cable = Maximum Resistance of Copper  
 Resistance x Cable Length  
 = 0,124 x 0,5  
 = 0,062  $\Omega$

Short Circuit Breaking Capacity (Icn)  
 Icn = Voltase/Tahanan  
 = 380 V / 0,062  $\Omega$   
 = 16.129,032 A  
 = 16,13 kA

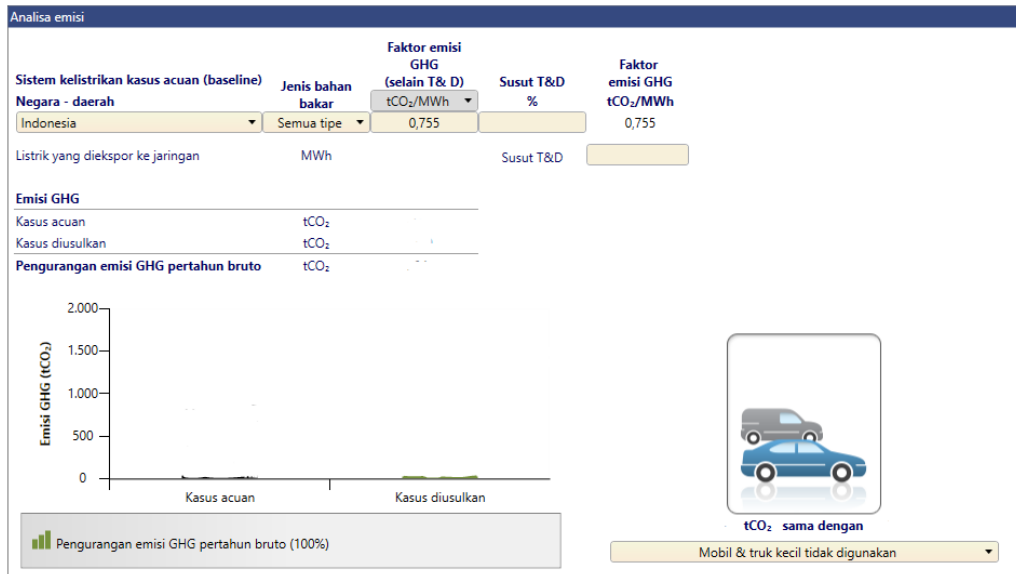
Pemilihan cirtcuit breaker untuk arus *inverter* berdasarkan *rated ampere* dan kemampuan *short circuit breaking* yaitu, Schneider Electric NS400 dengan spesifikasi seperti berikut:

NS400 to NS630					
					
Breaker Type	N	H	L	H-DC	
Number of poles	3,4	3,4	3,4	3	
Current Range	150-630	150-630	150-630	400-600	
Interrupting Ratings					
IEC 947-2 Icu/Ics ac 50/60 Hz●	220/240 Vac	85/85	100/100	150/150	...
	380/415 Vac	45/45	70/70	150/110	...
	440 Vac	42/42	65/65	130/130	...
	500 Vac	30/30	50/50	70/70	...
	525 Vac	22/22	35/35	50/50	...
	660/690 Vdc	10/10	20/20	35/35	...
DC Ratings	250 Vdc	...	...	...	85
	500 Vdc	...	...	...	85
Special Ratings					

Gambar 4. 25 *Circuit Breaker* untuk *Inverter*  
(Sumber: Schneider Electric)

#### 4.5.8. Analisa Emisi

RETScreen sebagai aplikasi Clean Energy Project Analysis Software menyediakan analisa emisi untuk membantu pengguna untuk memperkirakan pengurangan emisi gas rumahkaca.



Gambar 4. 26 Lembar Kerja Analisa Emisi RETScreen

Kerugian transmisi dan distribusi (T&D) tenaga listrik perlu diketahui untuk dapat menentukan pengurangan emisi yang terjadi, kerugian transmisi dan distribusi pada setiap negara bisa berbeda-beda dan untuk mengetahui pesen kerugian transmisi dan distribusi penulis menggunakan data yang ada dalam tabel *world development indicator* dari *World Bank*. Kerugian transmisi dan distriusi terbagi menjadi 2 yaitu:

1. Kerugian Teknis

Kerugian teknis merupakan kerugian yang disebabkan oleh energi yang hilang dalam konduktor dan peralatan yang digunakan didalam sistem transmisi dan trafo

2. Kerugian Non-Teknis

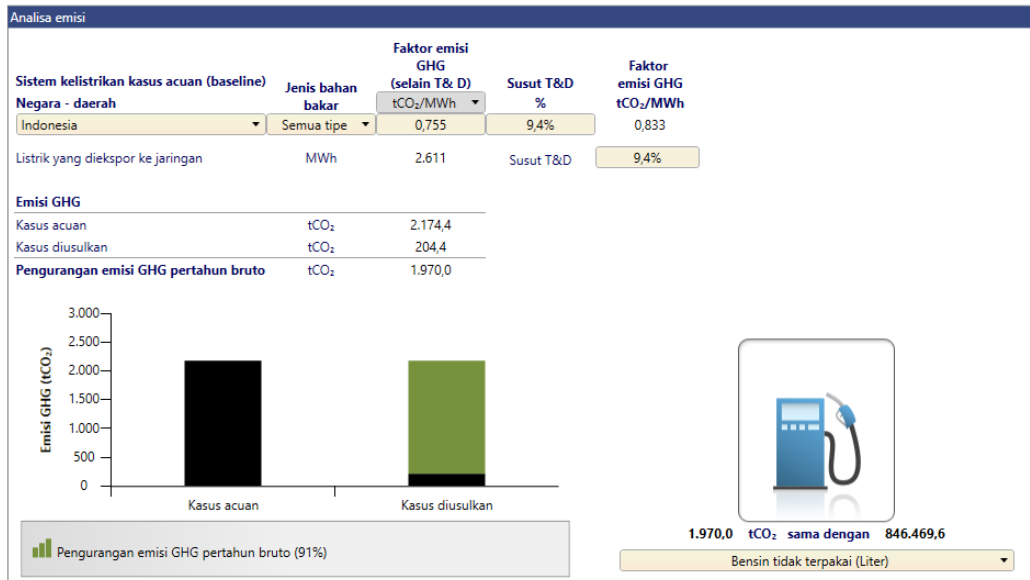
Kerugian non-teknis merupakan kerugian yang disebabkan oleh kesalahan dalam pembacaan meter, kendala keuangan, kurangnya administrasi dan pencurian energi.

Electric power transmission and distribution losses (% of output) ⓘ

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
India	18.5	19.3	..	..	..	..	..
Indonesia	9.6	9.4	..	..	..	..	..
Iran, Islamic Rep.	14.5	12.6	..	..	..	..	..
Iran	20.0	20.6	..	..	..	..	..

Source: World Development Indicators. Click on a metadata icon for original source information to be used for citation.

Gambar 4. 27 Kerugian Transmisi dan Distribusi  
(Sumber: World Development Indicators)



Gambar 4. 28 Analisa Emisi RETScreen

Berdasarkan analisa RETScreen dapat dilihat bahwa sebelum terpasangnya solar panel emisi gas rumah kaca yang dihasilkan sebesar 2174,4 tCO<sub>2</sub>. Setelah terpasangnya 4480 unit solar panel dengan keluaran energi sebesar 2611 MWh, emisi gas rumah kaca yang dihasilkan menjadi 204,4 tCO<sub>2</sub> atau berkurang sebesar 1970 tCO<sub>2</sub>. Pengurangan emisi gas rumah kaca tersebut juga setara dengan 846.496,6 liter bensin yang tidak dikonsumsi.

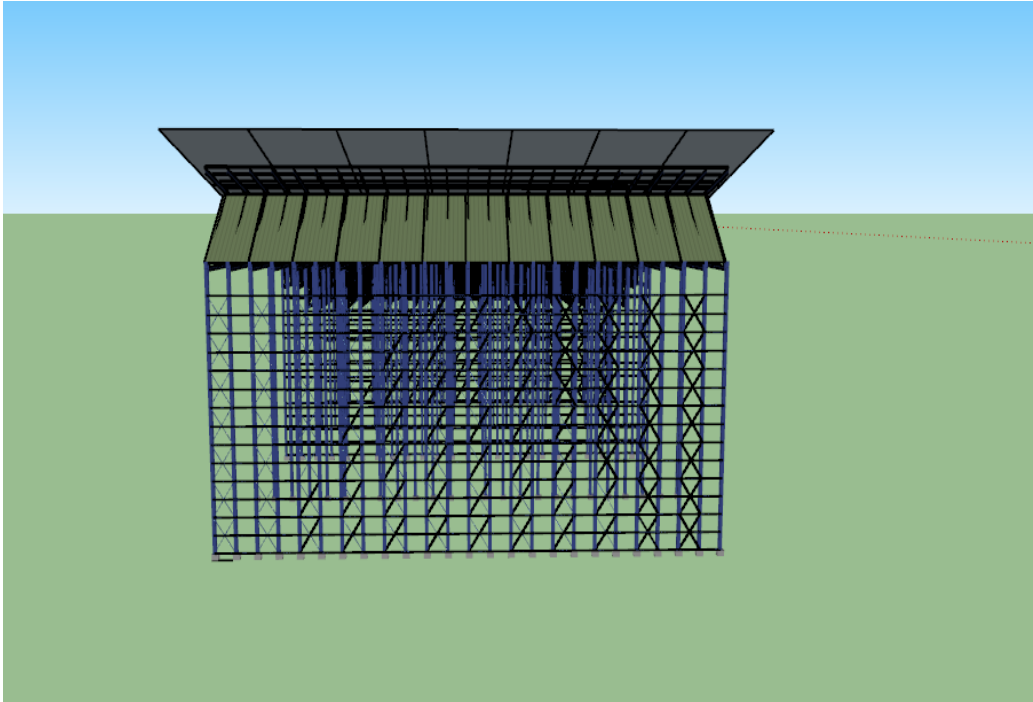
#### 4.5 Design Solar Panel Roof

Setelah mendapatkan beberapa parameter dan dimensi untuk merancang desain *Solar Panel Roof*, peneliti melakukan proses perancangan *Solar Panel Roof* dengan menggunakan software SketchUp. Beberapa dimensi dan parameter yang diperhatikan dalam perancangan *Solar Panel Roof* antara lain;

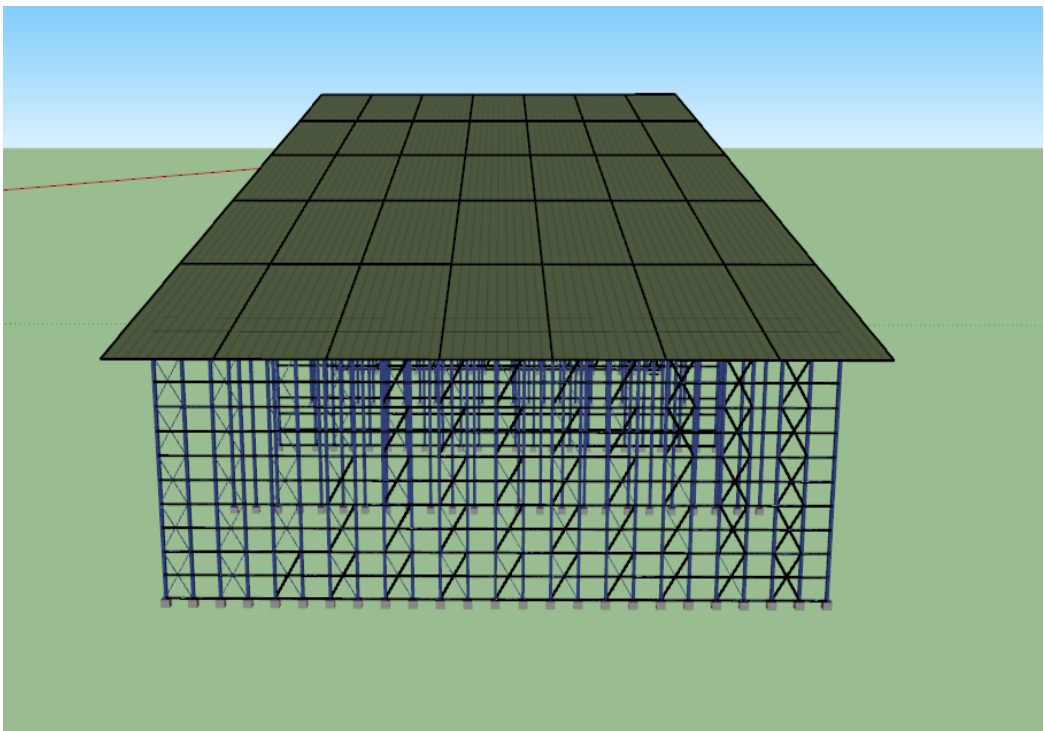
Tabel 4. 13 Parameter dan Dimensi *Solar Panel Roof*

Parameter	Nilai/Besar	Satuan
Panjang	135,2	Meter (m)
Lebar	85,13	Meter (m)
Tinggi tiang terendah	30	Meter (m)
Tinggi Crane	26,5	Meter (m)
Luas atap	14.105	Meter kuadrat (m <sup>2</sup> )
Kemiringan Atap	12	Derajat (°)

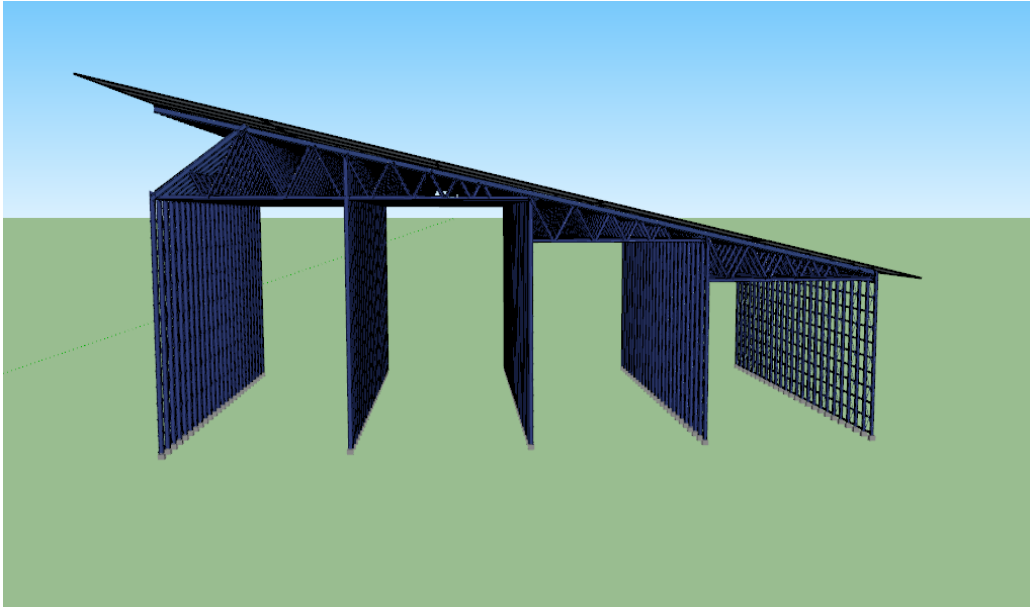




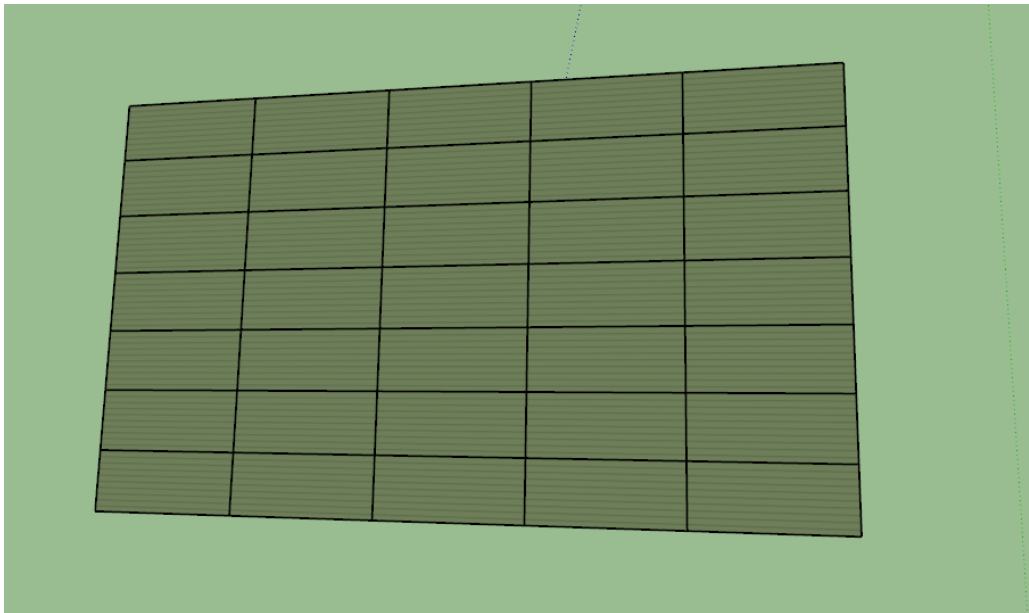
Gambar 4. 29 *Solar Panel Roof* Tampak Depan



Gambar 4. 30 *Solar Panel Roof* Tampak Belakang



Gambar 4. 31 *Solar Panel Roof* Tampak Samping



Gambar 4. 32 *Solar Panel Roof* Tampak Atas

#### 4.6 Penghematan Akibat *Solar Panel Roof*

Dalam Instalasi *solar panel roof* terjadi pengurangan panas pada setiap sisi permukaan *reefer container*, terutama yang sangat berpengaruh yaitu pada *reefer container* tier paling atas. *Solar panel roof* menghalangi sinar matahari yang langsung jatuh keatas *reefer container* sehingga terjadi pengurangan perpindahan panas pada

setiap sisi *reefer container* ke dalam, ini menyebabkan pengurangan energi yang dikonsumsi oleh *reefer container*.

Tabel 4. 14 Penghematan Energi

Tier	Without Solar Panel Roof (W)	With Solar Panel Roof (W)	Penghematan
Tier 1	1730,72	1181,66	31,72%
Tier 2	1715,50	1183,02	31,04%
Tier 3	1715,52	1182,38	31,08%
Tier 4	1863,67	1182,20	36,57%
Average Energy Saving			32,60%

Dapat dilihat pada tabel diatas bahwa rata-rata penghematan energi yang terjadi akibat *solar panel roof* sebesar 32,60% dengan penghematan terbesar terjadi pada tier 4 atau *reefer container* yang terletak paling atas yaitu sebesar 36,57%. Dengan penghematan sebesar 32,60% pada 1 *reefer container* sama dengan menghemat Rp. 112.822 untuk kondisi *froze reefer container* dan Rp. 158.288 untuk kondisi *chilled reefer container*.

#### 4.7 Analisa Struktur Sederhana

Analisa struktur sederhana dilakukan dengan menggunakan perhitungan sederhana dengan memperhitungkan struktur atap. Analisa sturktur mempertimbangkan kekuatan dari *Solar Panel Roof* yang diaplikasikan di *Reefer Container Yard* PT. Terminal Petikemas Surabaya. Solar panel roof yang direncanakan merupakan bangunan baja dengan data-data sebagai berikut:

1. Lebar bangunan = 84 m
2. Panjang bangunan = 135,45 m
3. Jarak antar kolom sisi lebar = 3,5 m
4. Jarak antar kolom sisi panjang = 33,5 m
5. Sudut atap = 12°
6. Bentang kuda-kuda = 84 m
7. Bentang miring kuda-kuda = 49,77 m
8. Letak bangunan = dekat dengan pantai
9. Tekanan angin lokasi bangunan = 40 kg/m<sup>2</sup>
10. Mutu baja yang digunakan = BJ 41
- f<sub>y</sub> = 250 Mpa
- f<sub>u</sub> = 410 Mpa
- e = 200.000 Mpa

##### 4.7.1. Perencanaan Gording

Bahan penutup apa adalah Zinkalum Spandex 0,35 m

- Berat penutup atap = 25 kg/m<sup>2</sup>
- Beban hidup (sementara) = 100 kg/m

Gording menggunakan profil cannal 150x50x50x4,5 dengan mutu baja BJ 41 dan karakteristik penampangnya;

A	= 10,58 cm <sup>2</sup>	w	= 8,31 kg/m
I <sub>x</sub>	= 438 cm <sup>4</sup>	I <sub>y</sub>	= 71,4 cm <sup>4</sup>
Z <sub>x</sub>	= 58,4 cm <sup>3</sup>	Z <sub>y</sub>	= 13,2 cm <sup>3</sup>
i <sub>x</sub>	= 5,84 cm	i <sub>y</sub>	= 2,36 cm
bf	= 5 cm	tf	= 0,45 cm
h	= 14,1 cm	tw	= 0,45 cm
Jarak antar gording	= 0,75 m		
Jarak antar kuda-kuda	= 3,5 m		

### **Perhitungan pembebanan**

#### Beban Mati

Beban gording	= 8,31 kg/m
Beban penutup atap	= Jarak antar gording x Berat penutup atap
	= 18,75 kg/m
Beban baut+ikatan (10%)	= 2,706 kg/m
Beban pada gording (qd)	= 8,31 kg/m + 18,75 kg/m + 2,706 kg/m
	= 29,77 kg/m

Pada arah sumbu lemah dipasang penggantung gording dengan jarak antar penggantung 1,75 m ,  $L_y = \text{jarak antar kuda-kuda} / 4 = 0,875 \text{ m}$ . Momen max yang terjadi adalah sebagai berikut.

M <sub>xd</sub>	= $1/8 \times qd \times \cos \alpha \times \text{jarak antar kuda-kuda}$
	= 38,46 kgm
M <sub>yd</sub>	= $1/8 \times qd \times \sin \alpha \times L_y$
	= 1,53 kgm

#### Beban Hidup

Beban hidup terbagi rata oleh air hujan	
Sesuai dengan PPUG 1983 Ps.3.2.2 hal 13	= $40 - 0,8\alpha > 20 \text{ kg/m}^2$
H <sub>a</sub>	= $40 - 0,8\alpha$
	= 30,4 kg/m <sup>2</sup>
x	= jarak antar gording x $\cos \alpha$
	= 0,63 m
q <sub>l</sub>	= (x) x H <sub>a</sub>
	= 19,24 kg/m
M <sub>xd</sub>	= $1/8 \times q_l \times \cos \alpha \times \text{jarak antar kuda-kuda}$
	= 24,86 kgm
M <sub>yd</sub>	= $1/8 \times q_l \times \sin \alpha \times L_y$
	= 0,99 kgm

Beban hidup terpusat, P =100 kg merupakan beban manusia sementara saat pemasangan atap.

M <sub>xl</sub>	= $1/4 \times P \times \cos \alpha \times \text{jarak antar kuda-kuda}$
	= 73,84 kgm

$$\begin{aligned} M_{yl} &= 1/4 \times P \times \sin \alpha \times L_y \\ &= 11,74 \text{ kgm} \end{aligned}$$

#### Beban Angin

$$\begin{aligned} \text{Koefisien angin dekat pantai} &= 40 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Koefisien angin tekan} &= 0,02\alpha - 0,4 \\ &= -0,16 \\ \text{Koefisien angin hisap} &= -0,4 \\ q_w \text{ tekan} &= -4,8 \text{ kg/m} \\ q_w \text{ hisap} &= -12 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Karena beban angin bekerja tegak lurus sumbu x sehingga hanya ada  $M_x$

$$\begin{aligned} \text{Angin tekan } M_x &= 1/8 \times q_w \text{ tekan} \times \text{jarak antar kuda-kuda}^2 \\ &= -7,35 \text{ kgm} \\ \text{Angin tekan } M_x &= 1/8 \times q_w \text{ hisap} \times \text{jarak antar kuda-kuda}^2 \\ &= -18,375 \text{ kgm} \end{aligned}$$

#### Kombinasi Beban DFBK

Kombinasi	Smb. X	Smb. Y
1,4 D	53,85	2,14
1,2 D + 1,6 Lorg + 0,5 Lhjn	176,72	21,11
1,2 D + 1,3 W + 0,5 Lorg + 0,5 Lhjn	105,06	32,08

#### **Pengecekan**

##### Cek Penampang Profil

Penampang profil dibagi 3 kondisi yaitu penampang kompak, penampang tak kompak, dan penampang langsing.

- Penampang kompak merupakan penampang yang memenuhi  $\lambda \leq \lambda_p$ , maka kuat lentur nominal penampang ditentukan sebagai berikut  $M_n = M_p$ .
- Penampang tak kompak merupakan penampang yang memenuhi  $\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$ , maka kuat lentur nominal penampang ditentukan sebagai berikut  $M_n = M_p - (M_p - M_r) \times (\lambda - \lambda_p) / (\lambda_r - \lambda_p)$ .
- Penampang langsing merupakan pelat sayap yang memenuhi  $\lambda_r \leq \lambda$ , maka lentur nominal penampang ditentukan sebagai berikut  $M_n = M_r \times (\lambda_r / \lambda)^2$

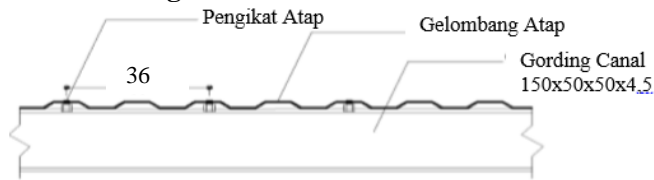
Sayap	$\lambda$	=	bf/2tf	Penampang Kompak	<b>OK</b>
		=	5,56	$\lambda \leq \lambda_p$	
	$\lambda_p$	=	$0,38 \times (E/F_y)^{0,5}$	Penampang Tak Kompak	<b>NOT</b>
		=	10,75	$\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$	<b>OKAY</b>
	$\lambda_r$	=	$1,0 \times (E/F_y)^{0,5}$	Penampang Langsing	<b>NOT</b>
		=	28,28	$\lambda_r \leq \lambda$	<b>OKAY</b>
Badan	$\lambda$	=	h/tw	Penampang Kompak	<b>OK</b>
		=	31,33	$\lambda \leq \lambda_p$	
	$\lambda_p$	=	$3,76 \times (E/F_y)^{0,5}$	Penampang Tak Kompak	<b>NOT</b>
		=	106,35	$\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$	<b>OKAY</b>
	$\lambda_r$	=	$5,70 \times (E/F_y)^{0,5}$	Penampang Langsing	

=	161,22	$\lambda_r$	$\leq$	$\lambda$	<b>NOT OKAY</b>
---	--------	-------------	--------	-----------	-----------------

Dari perhitungan diatas diketahui bahwa penampang profil berada pada kondisi kompak, maka;

$$\begin{aligned} M_{nx} &= Z_x \times f_y \\ &= 1.460 \text{ kgm} \\ M_{ny} &= Z_y \times f_y \\ &= 70,31 \text{ kgm} \end{aligned}$$

### Kontrol Lateral Buckling



Gambar 4. 33 Pengaku Lateral Gording

$$\begin{aligned} \text{Jarak penahan lateral (lb)} &= 36 \text{ cm} \\ \text{Jarak antar gelombang} &= 18 \text{ cm} \\ \text{Kontrol lateral buckling (lp)} &= 1,76 \times i_y \times (E/f_y)^{0,5} \\ &= 1,76 \times 2,36 \text{ cm} \times (200.000/250)^{0,5} \\ &= 117,48 \text{ cm} \end{aligned}$$

$lb > lp$  maka control lateral buckling berada pada kondisi plastic.

Kontrol

Syarat;  $M_u \leq \phi M_n$ ,  $\phi = 0,9$

$$\begin{aligned} M_{ux} &= M_{ux} \leq \phi M_n \\ &= 176,72 \leq 0,9 \times 1.460 \\ &= 176,72 \leq 1.314 \\ &= \text{Memenuhi} \\ M_{uy} &= M_{uy} \leq \phi M_n \\ &= 32,08 \leq 0,9 \times 70,31 \\ &= 32,08 \leq 63,28 \\ &= \text{Memenuhi} \end{aligned}$$

### Persamaan Interaksi DFBK

$$\frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} \leq 1; \phi = 0,9$$

Untuk mengantisipasi masalah puntr maka  $M_{ny}$  dapat dibagi menjadi 2 sehingga;

$$\frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny,0,5}} \leq 1; \phi = 0,9$$

$$0,8061 \leq 1$$

**Memenuhi**

### Cek Lendutan

Lendutan/defleksi pada struktur perlu diperhitungkan agar tidak melampaui nilai yang ditentukan dalam hal ini tegangan ijin ( $f_{ijin}$ ). Tegangan ijin ditunjukkan untuk mencegah terjadinya kerusakan dan retak.

$$\begin{aligned} f_{ijin} &= L/240 \\ &= 350 \text{ cm}/240 \\ &= 1,46 \text{ cm} \end{aligned}$$

#### Sumbu X

Akibat beban merata

$$\begin{aligned} f_{x1} &= \left( \frac{5}{384} \times \frac{q \cos \alpha L^4}{E_{ix}} \right) \\ f_{x1} &= 0,0649 \text{ cm} \end{aligned}$$

Akibat beban terpusat

$$\begin{aligned} f_{x2} &= \left( \frac{1}{48} \times \frac{P \cos \alpha L^3}{E_{ix}} \right) \\ f_{x2} &= 0,0997 \text{ cm} \end{aligned}$$

#### Sumbu Y

Akibat beban merata

$$\begin{aligned} f_{y1} &= \left( \frac{5}{384} \times \frac{q \sin \alpha L^4}{E_{iy}} \right) \\ f_{y1} &= 0,0010 \text{ cm} \end{aligned}$$

Akibat beban terpusat

$$\begin{aligned} f_{y2} &= \left( \frac{1}{48} \times \frac{P \sin \alpha L^3}{E_{iy}} \right) \\ f_{y2} &= 0,0048 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f &= \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \\ f &= 0,165 \text{ cm} \end{aligned}$$

Lendutan pada struktur yang masih dapat diterima jika dapat memenuhi syarat,

$$\begin{aligned} f &< f_{ijin} \\ 0,165 &< 1,46 \end{aligned}$$

#### **Memenuhi**

#### 4.7.2. Perencanaan Regel Memanjang

Direncanakan bangunan Solar Panel Roof merupakan bangunan terbuka sehingga tidak menggunakan dinding sebagai penutup samping. Direncanakan regel menggunakan profil WF 150x75x5x7 dengan mutu baja BJ41 dan karakteristik penampangnya;

A	= 40,14 cm <sup>2</sup>	w	= 31,5 kg/m
I <sub>x</sub>	= 1.640 cm <sup>4</sup>	I <sub>y</sub>	= 563 cm <sup>4</sup>
Z <sub>x</sub>	= 240 cm <sup>3</sup>	Z <sub>y</sub>	= 114 cm <sup>3</sup>
i <sub>x</sub>	= 6,39 cm	i <sub>y</sub>	= 3,75 cm
bf	= 15 cm	tf	= 1 cm
h	= 10,6 cm	tw	= 0,7 cm

Jarak antar regel = 2,7 m

### **Perhitungan pembebanan**

#### Beban Mati

Beban profil regel = 31,5 kg/m  
 Alat pengikat (10%) = 3,15 kg/m  
 Beban pada regel (qD) = Beban profil regel + alat pengikat  
 = 34,64 kg/m

MyD =  $1/8 \times qD \times (\text{jarak antar regel}/3)^2$   
 = 3,51 kgm

#### Beban Hidup

Beban hidup terpusat, P = 100 kg merupakan beban manusia sementara saat pemasangan atap.

MyD =  $1/4 \times P \times (L/3)$   
 = 22,5 kgm

#### Beban Angin

Koefisien angin dekat pantai = 40 kg/m<sup>2</sup>  
 c = 0,9  
 Angin tekan = c x koefisien angin  
 = 36 kg/m<sup>2</sup>  
 Angin hisap = 0,4 x koefisien angin  
 = 16 kg/m<sup>2</sup>

qW tekan = Angin tekan x Jarak regel  
 = 97,2 kg/m

qW hisap = Angin hisap x jarak regel  
 = 43,2 kg/m

MxW tekan =  $1/8 \times qW \text{ tekan} \times \text{Jarak regel}^2$   
 = 88,57 kgm

#### Kombinasi Beban DFBK

Kombinasi	Smb. X	Smb. Y
1,4 D	0,00	4,91
1,2 D + 1,6 Lorg + 0,5 Lhjn	0,00	40,21
1,2 D + 1,3 W + 0,5 Lorg + 0,5 Lhjn	115,15	15,46

### **Pengecekan**

#### Cek Penampang Profil

Penampang profil dibagi 3 kondisi yaitu penampang kompak, penampang tak kompak, dan penampang langsing.

- Penampang kompak merupakan penampang yang memenuhi  $\lambda \leq \lambda_p$ , maka kuat lentur nominal penampang ditentukan sebagai berikut  $M_n = M_p$ .
- Penampang tak kompak merupakan penampang yang memenuhi  $\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$ , maka kuat lentur nominal penampang ditentukan sebagai berikut  $M_n = M_p - (M_p - M_r) \times (\lambda - \lambda_p) / (\lambda_r - \lambda_p)$ .



- Penampang langsing merupakan pelat sayap yang memenuhi  $\lambda_r \leq \lambda$ , maka lentur nominal penampang ditentukan sebagai berikut  $M_n = M_r \times (\lambda_r / \lambda)^2$

Sayap	$\lambda$	=	$bf/2tf$	Penampang Kompak	<b>OK</b>
		=	7,50	$\lambda \leq \lambda_p$	
	$\lambda_p$	=	$0,38 \cdot (E/F_y)^{0,5}$	Penampang Tak Kompak	<b>NOT</b>
		=	10,75	$\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$	<b>OKAY</b>
	$\lambda_r$	=	$1,0 \cdot (E/F_y)^{0,5}$	Penampang Langsing	<b>NOT</b>
		=	28,28	$\lambda_r \leq \lambda$	<b>OKAY</b>
Badan	$\lambda$	=	$h/tw$	Penampang Kompak	<b>OK</b>
		=	15,14	$\lambda \leq \lambda_p$	
	$\lambda_p$	=	$3,76 \cdot (E/F_y)^{0,5}$	Penampang Tak Kompak	<b>NOT</b>
		=	106,35	$\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$	<b>OKAY</b>
	$\lambda_r$	=	$5,70 \cdot (E/F_y)^{0,5}$	Penampang Langsing	<b>NOT</b>
		=	161,22	$\lambda_r \leq \lambda$	<b>OKAY</b>

Dari perhitungan diatas diketahui bahwa penampang profil berada pada kondisi kompak, maka;

$$\begin{aligned}
 M_{nx} &= Z_x \times f_y \\
 &= 6.000 \text{ kgm} \\
 M_{ny} &= Z_y \times f_y \\
 &= 1.406,25 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

#### Kontrol Momen

Syarat;  $M_u \leq \phi M_n$ ,  $\phi = 0.9$

$$\begin{aligned}
 M_{ux} &= M_{ux} \leq \phi M_n \\
 &= 115,15 \leq 0,9 \times 6.000 \\
 &= 115,15 \leq 1.314 \\
 &= \textbf{Memenuhi} \\
 M_{uy} &= M_{uy} \leq \phi M_n \\
 &= 40,21 \leq 0,9 \times 1.406,25 \\
 &= 40,21 \leq 1.265,63 \\
 &= \textbf{Memenuhi}
 \end{aligned}$$

#### **Persamaan Interaksi DFBK**

$$\frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} \leq 1; \phi = 0,9$$

$$0,053 \leq 1$$

**Memenuhi**

#### **Cek Lendutan**

Lendutan/defleksi pada struktur perlu diperhitungkan agar tidak melampaui nilai yang ditentukan dalam hal ini tegangan ijin ( $f_{ijin}$ ). Tegangan ijin ditunjukkan untuk mencegah terjadinya kerusakan dan retak.

$$f_{ijin} = L/240$$

$$= 350 \text{ cm}/240$$

$$= 1,46 \text{ cm}$$

### Sumbu X

Akibat beban merata

$$f_{x1} = \left( \frac{5}{384} \times \frac{q \cos \alpha L^4}{E_{ix}} \right)$$

$$f_{x1} = 0,021 \text{ cm}$$

Akibat beban terpusat

$$f_{x2} = \left( \frac{1}{48} \times \frac{P \cos \alpha L^3}{E_{ix}} \right)$$

$$f_{x2} = 0,027 \text{ cm}$$

### Sumbu Y

Akibat beban merata

$$f_{y1} = \left( \frac{5}{384} \times \frac{q \sin \alpha L^4}{E_{iy}} \right)$$

$$f_{y1} = 0,000742 \text{ cm}$$

Akibat beban terpusat

$$f_{y2} = \left( \frac{1}{48} \times \frac{P \sin \alpha L^3}{E_{iy}} \right)$$

$$f_{y2} = 0,0029 \text{ cm}$$

$$f = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}$$

$$f = 0,048 \text{ cm}$$

Lendutan pada struktur yang masih dapat diterima jika dapat memenuhi syarat,

$$f < f_{ijin}$$

$$0,04801 < 1,46$$

### **Memenuhi**

#### 4.7.3. Perencanaan Trekstang

Batang tarik trekstang berfungsi untuk mengurangi lendutan gording sekaligus untuk mengurangi tegangan lendutan yang timbul

### **Pembebanan**

Pada pembebanan trekstang, beban yang diterima trekstang sama dengan beban yang diterima oleh gording. Trekstang yang dipakai sebanyak 3 buah trekstang.

$$P_{maks} = (qL_y \times \text{jarak antar gording}) \times Mly$$

$$= 169,37 \text{ kgm}$$

### **Dimensi Tekstang**

$$\text{Tana} = \text{jarak kuda-kuda/space antar trekstang}$$

$$= 3,5 / 4$$

$$= 0,88$$

$$\text{Invitif tan } 0,875 = 41,19$$

$$\text{Sin } 41,186 = 0,66$$

$$\begin{aligned}
 R \times \sin \alpha &= n \times P_{\max} \\
 R &= (n \times P_{\max}) / \sin \alpha \\
 R &= (4 \times 169,37) / 0,66 \\
 R &= 1.029,61 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{\text{ijin}} &= R/f \\
 f &= R/f_{\text{ijin}} \\
 f &= 0,74 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f &= 1/4 \times \pi \times d^2 \\
 d &= ((f/4)/\pi)^{0,5} \\
 &= 0,97 \text{ cm} \\
 &= 9,68 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Karena diameter minimal yang tersedia pada pasar adalah 10 mm, maka pemilihan trekstang dengan diameter 12 mm masih memenuhi diameter minimal yangizinkan.

#### 4.7.4. Perencanaan Ikatan Atap

Panjang sisi miring atas kuda (L) = 13,56 m

##### Dimensi Ikatan Angin

$$\begin{aligned}
 P_{\text{kuda-kuda}} &= \frac{a+b/2 \times \text{tekanan angin}}{2} \times L \times 2 \times \text{Jarak antar kuda} \\
 &= 9.664,48 \text{ kgm} \\
 P' &= (0,1 P_{\text{kuda-kuda}}) + (0,005 \times n \times q \times \text{jarak} \\
 &\quad \text{antar gording} \times \text{jarak antar kuda-kuda}) \\
 P' &= 967,10 \text{ kg} \\
 f &= P'/f_{\text{ijin}} \\
 &= 0,81 \text{ cm}^2 \\
 f &= 1/4 \times \pi \times d^2 \\
 d &= ((f/4)/\pi)^{0,5} \\
 &= 1,013 \text{ cm} \\
 &= 10,13 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

##### Kontrol kelangsingan

Panjang ikatan angin = 7,35 m

Kontrol kelangsingan memiliki syarat yang harus dipenuhi;

Dengan menggunakan diameter 10,13 mm

$$L/D \leq 500$$

$$725,66 \leq 500$$

##### Tidak Memenuhi

Karena tidak memenuhi, sehingga diameter ikatan angin diperbesar sebesar 16 mm.

$$L/D \leq 500$$

$$459,54 \leq 500$$

**Memenuhi**

Pada bentang ikatan angin harus memenuhi syarat;

$$\frac{h}{L} \geq \sqrt{\frac{0,25 \times Q}{E \times A_{tepi}}}$$

Q = jumlah trekstang x tekanan angin x jarak antar gording x panjang sisi miring atas kuda

$$= 813,6 \text{ kg}$$

Atepi = ((a+b)/2) x jarak antar gording

a = tan  $\alpha$  x 0,5 lebar bangunan

$$= 8,9 \text{ m}$$

b = tan  $\alpha$  x (1/2 L – jarak antar gording)

$$= 1,28 \text{ m}$$

$$= 3,818 \text{ m}^2$$

Atepi

Syarat;

$$\frac{h}{L} \geq \sqrt{\frac{0,25 \times Q}{E \times A_{tepi}}}$$

$$0,0553 \geq 0,000025$$

**Memenuhi****4.7.5. Pengecekan Kolom**

Direncanakan kolom pada bangunan Solar Panel Roof menggunakan profil WF 400x400x20x35 dengan mutu baja BJ41 dan karakteristik penampangnya;

$$A = 360,7 \text{ cm}^2$$

$$w = 283 \text{ kg/m}$$

$$I_x = 119.000 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 39.400 \text{ cm}^4$$

$$Z_x = 6.239 \text{ cm}^3$$

$$Z_y = 2.935 \text{ cm}^3$$

$$i_x = 18,2 \text{ cm}$$

$$i_y = 10,4 \text{ cm}$$

$$b_f = 40,7 \text{ cm}$$

$$t_f = 3,5 \text{ cm}$$

$$h = 41,4 \text{ cm}$$

$$t_w = 2 \text{ cm}$$

$$P_u = 23.261,5$$

**Kontrol kelangsingan**

Kontrol kelangsingan memiliki syarat yang harus dipenuhi;

Dengan K memiliki nilai 1

$$K \times L/i \leq 200$$

$$33,65 \leq 500$$

**Memenuhi****Kekuatan tekan tanpa elemen langsing**

$$\phi P_n = \phi \times F_{cr} \times A_g$$

$$4,71 \times \sqrt{E/f_y} = 133,22$$

Maka,

$$K \times L/i \leq 4,71 \times \sqrt{E/f_y}$$

$$33,65 \leq 133,22$$

Sehingga dipakai nilai  $F_{cr}$  dengan persamaan:

$$F_e = (\pi^2 \times E) / (K \times L/i)^2$$

$$= 1.741,084 \text{ Mpa}$$

$$F_{cr} = 0,658^{(f_y/f_e)} \times f_y$$

$$= 2.354,18 \text{ kg/cm}^2$$

$$\phi P_n = \phi \times F_{cr} \times A_g$$

$$= 764.236,86 \text{ kg}$$

$$P_u / \phi P_n < 0,2$$

$$0,03044 < 0,2$$

**Memenuhi**

### **Pengecekan**

#### Cek Penampang Profil

Penampang profil dibagi 3 kondisi yaitu penampang kompak, penampang tak kompak, dan penampang langsing.

- Penampang kompak merupakan penampang yang memenuhi  $\lambda \leq \lambda_p$ , maka kuat lentur nominal penampang ditentukan sebagai berikut  $M_n = M_p$ .
- Penampang tak kompak merupakan penampang yang memenuhi  $\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$ , maka kuat lentur nominal penampang ditentukan sebagai berikut  $M_n = M_p - (M_p - M_r) \times (\lambda - \lambda_p) / (\lambda_r - \lambda_p)$ .
- Penampang langsing merupakan pelat sayap yang memenuhi  $\lambda_r \leq \lambda$ , maka kuat lentur nominal penampang ditentukan sebagai berikut  $M_n = M_r \times (\lambda_r / \lambda)^2$

Sayap	$\lambda$	=	bf/2tf	Penampang Kompak	<b>OK</b>
		=	5,81	$\lambda \leq \lambda_p$	
	$\lambda_p$	=	$0,38 \times (E/F_y)^{0,5}$	Penampang Tak Kompak	<b>NOT</b>
		=	10,75	$\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$	<b>OKAY</b>
	$\lambda_r$	=	$1,0 \times (E/F_y)^{0,5}$	Penampang Langsing	<b>NOT</b>
		=	28,28	$\lambda_r \leq \lambda$	<b>OKAY</b>
	$\lambda$	=	h/tw	Penampang Kompak	<b>OK</b>
		=	20,70	$\lambda \leq \lambda_p$	
Badan	$\lambda_p$	=	$3,76 \times (E/F_y)^{0,5}$	Penampang Tak Kompak	<b>NOT</b>
		=	106,35	$\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$	<b>OKAY</b>
	$\lambda_r$	=	$5,70 \times (E/F_y)^{0,5}$	Penampang Langsing	<b>NOT</b>
		=	161,22	$\lambda_r \leq \lambda$	<b>OKAY</b>

Dari perhitungan diatas diketahui bahwa penampang profil berada pada kondisi kompak, maka;

$$M_{nx} = Z_x \times f_y$$

$$\begin{aligned}
 &= 155.975 \text{ kgm} \\
 \text{Mny} &= Z_y \times f_y \\
 &= 7.337,5 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

#### Persamaan Interaksi

$$\frac{P_u}{2 \times \phi P_n} + \left( \frac{M_{ux}}{\phi b \times M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi b \times M_{ny}} \right) \leq 1,0$$

$$0,10676 \leq 1,0$$

#### Memenuhi

Dapat disimpulkan bahwa profil WF 400x400x20x35 untuk kolom dapat dipakai

### 4.8 Analisa Ekonomi

RETSreen menyediakan analisa ekonomi untuk menunjang penggunaan menentukan kelayakan dari sebuah proyek yang segera dilaksanakan.

#### 4.8.1. Analisa Biaya

Analisa biaya dibagi menjadi 2 yaitu analisa biaya untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan analisa biaya untuk *Solar Panel Roof*. Semua informasi untuk setiap komponen yang digunakan pada penelitian ini didapatkan dari pencarian informasi di internet dan membaca beberapa referensi dari literature yang membahas mengenai aplikasi solar panel.

##### 4.8.2.1. Biaya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Beberapa komponen solar panel yang dibutuhkan berasal dari luar negeri sehingga perhitungan harga komponen-komponen impor memerlukan perhitungan sendiri karena terdapat pajak dan Bea masuk yang diterima oleh barang itu.

Tabel 4. 15 Biaya Pengadaan Komponen PLTS

No	Item	Spec	Jmlh	Satuan	Harga	Total	Lokasi
1	Modul Surya	Grape Solar GS-S-410-Platinum	4480	pcs	\$ 106,61	\$ 477.612,80	USA
2	Inverter	Kehua Tech SPI 280kW	8	pcs	\$ 9.437,40	\$ 75.499,20	China
3	Solar Charge (SCC)	Leonics MPPT	160	pcs	\$ 713,60	\$ 114.176,00	Thailand
4	Battery	LITHPOW ER Lifepo4 lithium ion	663	pcs	\$ 211,26	\$ 140.065,38	China

Nilai harga Bea masuk ditentukan oleh harga barang dan tergantung dari jenis tarif yang digunakan. Tarif Bea masuk terbagi menjadi dua, tarif advalorum adalah tarif

dalam bentuk persentase dari nilai pabean dan tarif adnatorium adalah tarif spesifik rupiah per satuan barang. Nilai Bea masuk dan pajak impor dapat ditentukan;

Tabel 4. 16 Rincian Tarif Impor Dari USA

	Asal Negara	USA	
	Jenis Barang	Modul Surya	
Harga Barang	USD	-	477.613
Freight	USD	Diketahui	1.314
Insurance	USD	0,5 x Harga Barang	2.388
CIF	USD	Hrg Brng + Frieght + Insurance	481.315
Kurs	IDR	Diketahui	14.012
Nilai Pabean	IDR	CIF x Kurs	6.744.087.611
Bea Masuk	IDR	5% x Nilai Pabean	337.204.381
Nilai Impor	IDR	Nilai Pabean + Bea Masuk	7.081.291.992
PPN	IDR	10% x Nilai Impor	708.129.199
PPh Psl 22	IDR	2,5% x Nilai Impor	177.032.300
Total Pungutan	IDR	Bea Masuk + PPN + PPh Psl 22	1.222.365.880

Tabel 4. 17 Rincian Tarif Impor Dari China

	Asal Negara	China
	Jenis Barang	Inverter & Battery
Harga Barang	USD	- 215.565
Freight	USD	Diketahui 520
Insurance	USD	0,5 x Harga Barang 1.078
CIF	USD	Hrg Brng + Frieght + Insurance 217.162
Kurs	IDR	Diketahui 14.012
Nilai Pabean	IDR	CIF x Kurs 3.042.836.157
Bea Masuk	IDR	5% x Nilai Pabean 152.141.808
Nilai Impor	IDR	Nilai Pabean + Bea Masuk 3.194.977.965
PPN	IDR	10% x Nilai Impor 319.497.796
PPh Psl 22	IDR	2,5% x Nilai Impor 79.874.449
Total Pungutan	IDR	Bea Masuk + PPN + PPh Psl 22 551.514.053

Tabel 4. 18 Rincian Tarif Impor Dari Thailand

Asal Negara	Thailand
-------------	----------

Jenis Barang			SCC
Harga Barang	USD	-	114.176
Freight	USD	Diketahui	565
Insurance	USD	0,5 x Harga Barang	571
CIF	USD	Hrg Brng + Frieght + Insurance	115.312
Kurs	IDR	Diketahui	14.012
Nilai Pabean	IDR	CIF x Kurs	1.615.727.000
Bea Masuk	IDR	5% x Nilai Pabean	80.786.350
Nilai Impor	IDR	Nilai Pabean + Bea Masuk	1.696.513.350
PPN	IDR	10% x Nilai Impor	169.651.335
PPh Psl 22	IDR	2,5% x Nilai Impor	42.412.834
Total Pungutan	IDR	Bea Masuk + PPN + PPh Psl 22	292.850.519

Karena baterai hanya memiliki umur 3-5 tahun, peneliti memasukan biaya pembelian baterai lagi ke dalam O&M setiap 4 tahun sekali. Setelah mendapatkan nilai Bea masuk dan pajak impor dari barang yang berasal dari luar negeri selanjutnya peneliti menghitung keseluruhan biaya yang dibutuhkan untuk merencanakan PLTS. Rincian keseluruhan biaya dapat dilihat pada Tabel 4.17 dibawah ini;

Tabel 4. 19 Keseluruhan Biaya PLTS

No	Kebutuhan	Spesifikasi	Jmlh	Satuan	Harga	Total	Loc.
1	Modul Surya	Grape Solar GS-S-410-Platinum	4480	pcs	Rp 1.493.798	Rp 6.692.215.031	USA
		Freight	1	-	Rp 18.411.505	Rp 18.411.505	
		Insurance	1	-	Rp 33.461.075	Rp 33.461.075	
		Bea Masuk dan Pajak	1	-	Rp 1.222.365.880	Rp 1.222.365.880	
2	Inverter	Kehua Tech SPI 280kW	8	pcs	Rp 132.234.961	Rp 1.057.879.691	China
3	Battery	LITHPOWER Lifepo4 lithium ion	663	pcs	Rp 2.960.133	Rp 1.962.568.091	
		Freight	1	-	Rp 7.286.136	Rp 7.286.136	
		Insurance	1	-	Rp 15.102.239	Rp 15.102.239	
		Bea Masuk dan Pajak	1	-	Rp 551.514.053	Rp 551.514.053	
4	Solar Charge (SCC)	Leonics MPPT	160	pcs	Rp 9.998.820	Rp 1.599.811.277	Thailand
		Freight	1	-	Rp 7.916.667	Rp 7.916.667	



	<i>Insurance</i>	-	1	-	Rp 7.999.056	Rp 7.999.056	
	<i>Bea Masuk dan Pajak</i>	-	1	-	Rp 292.850.519	Rp 292.850.519	
5	Rak Panel Surya	-	4480	pcs	Rp 219.666	Rp 984.103.680	Lokal
6	Circuit Breaker PLN	Schneider Electric NS250	1	pcs	Rp 5.816.225	Rp 5.816.225	Lokal
7	Circuit Breaker Load	Schneider Electric NS400	1	pcs	Rp 6.095.993	Rp 6.095.993	Lokal
8	Circuit Breaker Inverter	Schneider Electric NS400	8	pcs	Rp 6.095.993	Rp 48.767.941	Lokal
9	Instalasi dan Setting PLTS	-	4480	pcs	Rp 267.857	Rp 1.199.999.987	
<b>Total</b>					Rp 15.714.165.047		

#### 4.8.2.2. Biaya Solar Panel Roof

Menurut Kementria PUPR, Direktorat Jenderal Cipta Karya penyusunan renacana anggaran biaya dibagi menjadi 2 tahapan yaitu pekerjaan persiapan dan umum serta pekerjaan struktur. Pekerjaan persiapan dan umum dibagi lagi menjadi 3 pekerjaan yaitu pekerjaan persiapan, pekerjaan galian dan pondasi, dan pekerjaan tie beam. Sedangkan pekerjaan struktur terdiri dari pekerjaan struktur baja dan pekerjaan atap.

Tabel 4. 20 Keseluruhan Biaya Solar Panel Roof

No.	Tahapan dan Pekerjaan	Anggaran
	Pekerjaan Persiapan dan Umum	Rp. 910.845.613
1.	Pekerjaan Persiapan	Rp. 118.000.000
2.	Pekerjaan Galian dan Pondasi	Rp. 99.695.613
3.	Pekerjaan Tie Beam	Rp. 693.150.000
	Pekerjaan Struktur	Rp. 18. 820.711.967
1.	Pekerjaan Struktur Baja	Rp. 17.869.394.967
2.	Pekerjaan Atap	Rp. 951.317.000
	Total	Rp. 19.731.557.580



bulan terakhir dari data yang ada di Bank Indonesia yaitu sebesar 2,69%. Masa proyek mengacu pada asuransi performa modul solar PV Grape Solar yang ditanggung selama 25 tahun. Menurut Bank Mandiri dalam mengajukan pinjaman untuk sebuah proyek rasio pembiayaan maksimal adalah 65% dari *cost of project* yang dibiayai dan 35% pembiayaan sendiri. Tingkat bunga yang umum ditawarkan di Indonesia berkisar antara 10-12%.

Insentif fiskal utama energi terbarukan diatur di Peraturan Menteri Keuangan No. 21/PMK.011/2010 yaitu memberikan insentif pajak (pajak penghasilan, PPN, Bea masuk, dan pajak ditanggung pemerintah) untuk semua produksi energi terbarukan dan pembuatan dan impor mesin yang diperlukan untuk produksi.

Bulan Tahun	Tingkat Inflasi
Mei 2020	2.19 %
April 2020	2.67 %
Maret 2020	2.96 %
Februari 2020	2.98 %
Januari 2020	2.68 %

Gambar 4. 36 Tingkat Inflasi  
(Sumber: Bank Indonesia)

Parameter finansial		
<b>Umum</b>		
Tingkat inflasi	%	2,69%
Tarif diskonto	%	11%
Laju reinvestasi	%	9%
Masa proyek	thn	25
<b>Keuangan</b>		
Insentif dan hibah	IDR	
Rasio hutang	%	65%
Hutang	IDR	23.039.719.708
Ekuitas	IDR	12.406.002.919
Tingkat bunga hutang	%	12%
Persyaratan hutang	thn	15
Pembayaran hutang	IDR/thn	3.382.789.328
<b>Analisa pajak pendapatan</b> <input checked="" type="checkbox"/>		
Tingkat pajak pendapatan efektif	%	10%
Loss carryforward?		Tidak ▼
Metode depresiasi		Penurunan kesetimbangan ▼
Aturan tengah tahun - tahun 1	ya/tidak	Tidak ▼
Basis pajak depresiasi	%	100%
Tingkat depresiasi	%	5%
Keringanan pajak tersedia?	ya/tidak	Tidak ▼

Gambar 4. 37 Parameter Financial

#### 4.8.2.2. Pendapatan Tahunan

Pendapatan didapatkan dari penghematan yang dilakukan pada setiap tahunnya baik penghematan akibat instalasi *Solar Panel Roof* maupun penghematan akibat produksi energi solar panel. Penghematan akibat instalasi *solar panel roof* sebesar 32,60% dihitung berdasarkan data *volume reefer container* eksisting pada tahun 2019 di PT. Terminal Petikemas Surabaya. Energi yang dapat dihemat dari instalasi solar panel roof pada tahun 2019 sebesar 2109,79 MWh atau sebesar Rp. 2.647.790.396. Pada Simulasi kelayakan ekonomi akan diasumsikan *volume reefer container* sama dengan lamanya masa proyek yang dilaksanakan sehingga penghematan juga bernilai sama.

Pendapatan tahunan			
<b>Pendapatan ekspor listrik</b>			
Listrik yang diekspor ke jaringan	MWh		2.611
Harga ekspor listrik	IDR/kWh		1.255
Pendapatan ekspor listrik	IDR		3.276.562.125
Tingkat kenaikan ekspor listrik	%		2%
<b>Pendapatan dari pengurangan GRK</b>			
Pengurangan emisi bruto GRK	tCO <sub>2</sub> /thn		1.970
Pengurangan emisi bruto GRK - 25 thn	tCO <sub>2</sub>		49.251
Pendapatan dari pengurangan GRK	IDR		0
<b>Pendapatan (biaya) lain-lain</b> <input checked="" type="checkbox"/>			
Energi	MWh		2.109,79
Tarif	IDR/kWh		1.255
Pendapatan (biaya) lain-lain	IDR		2.647.786.450
Durasi	thn		25
Laju eskalasi	%		
<b>Pendapatan produksi Energi Bersih (EB)</b> <input type="checkbox"/>			

Gambar 4. 38 Pendapatan Tahunan

#### 4.8.2.3. Biaya Simpanan dan Pendapatan

Biaya   Simpanan   Pendapatan			
<b>Biaya awal</b>			
Pembangunan	55,7%	IDR	19.731.557.580
Teknik	44,3%	IDR	15.714.165.047
<b>Total biaya awal</b>	<b>100%</b>	<b>IDR</b>	<b>35.445.722.627</b>
<b>Biaya dan pembayaran hutang tahunan</b>			
Operasi & Perawatan		IDR	1.525.458.924
Pembayaran hutang - 15 thn		IDR	3.382.789.328
<b>Total biaya tahunan</b>		<b>IDR</b>	<b>4.908.248.252</b>
<b>Penghematan dan pendapatan tahunan</b>			
Shading Effect		IDR	2.647.790.396
Pendapatan ekspor listrik		IDR	3.276.560.281
<b>Total pendapatan dan penghematan tahunan</b>		<b>IDR</b>	<b>5.924.350.677</b>

Gambar 4. 39 Biaya Simpanan Pendapatan

Lembar Biaya, Simpanan, dan Pendapatan merupakan rangkuman dari dari biaya proyek yang sudah diolah dan dipengaruhi oleh parameter-parameter financial yang telah ditentukan sebelumnya. Total biaya awal sebesar Rp. 35.445.722.627 dengan 55,7% berasal dari pembangunan *solar panel roof* dan 44,3% berasal dari teknik/PLTS. Biaya tahunan yang harus dikeluarkan sebesar Rp.4.908.248.252 dan pendapatan/penghematan tahunan yang dihasilkan sebesar Rp. 5.924.348.575. Dapat dilihat bahwa pendapatan lebih besar Rp. 1.016.102.425 dari pengeluaran setiap tahunnya.

#### 4.8.2.4. Kelayakan Keuangan

Kelayakan keuangan		
IRR sebelum pajak - ekuitas	%	15,9%
MIRR sebelum pajak - ekuitas	%	12,2%
IRR sebelum pajak - aset	%	6,5%
MIRR sebelum pajak - aset	%	7,6%
IRR sesudah pajak - ekuitas	%	15%
MIRR sesudah pajak - ekuitas	%	11,8%
IRR sesudah pajak - aset	%	5,8%
MIRR sesudah pajak - aset	%	7,2%
Pengembalian sederhana	thn	8,1
Balik modal ekuitas	thn	8,8
Nilai Bersih Sekarang (NPV)	IDR	6.051.836.951
Penghematan siklus hidup tahunan	IDR/thn	718.596.584
Rasio manfaat-biaya (B-C)		1,5
Kemampuan pengembalian hutang		1,3
Biaya pengurangan GHG	IDR/tCO <sub>2</sub>	-364.763
Biaya produksi energi	IDR/kWh ▾	1.179

Gambar 4. 40 Kelayakan Keuangan

Dari simulasi kelayakan keuangan diatas dapat dilihat bahwa IRR sebelum maupun setelah pajak bernilai positif baik ekuitas maupun aset. Proyek ini dapat balik modal pada tahun ke 8 pada bulan September atau selama 8,8 tahun. Net Present Value (NPV) menunjukkan angka yang positif dengan nilai Rp. 6.051.836.951 dan dengan rasio

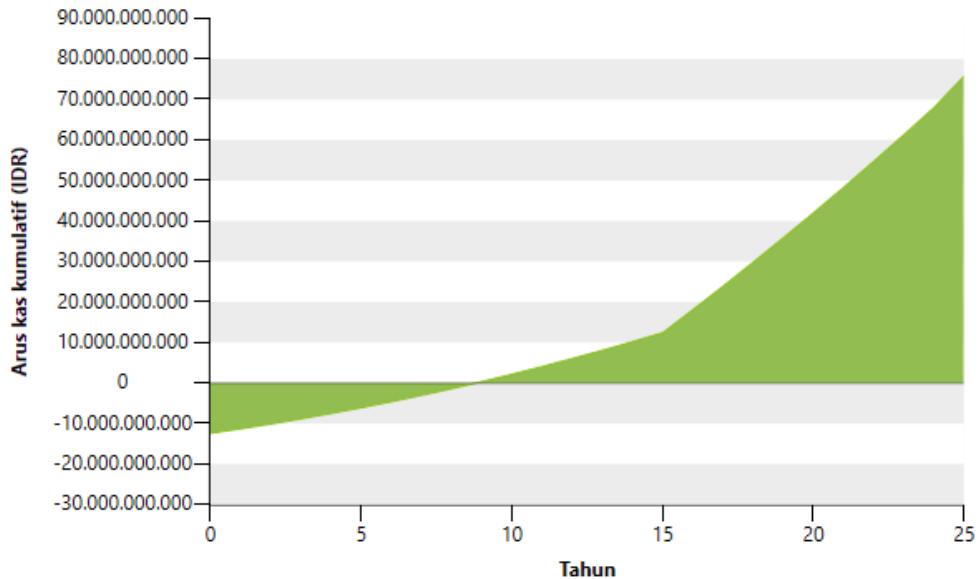
B-C sebesar 1,5. Dengan hasil simulasi kelayakan keuangan yang sudah didapatkan, diketahui bahwa semua parameter kelayakan keuangan bernilai positif dan dapat dikatakan bahwa proyek ini bisa dikatakan layak untuk dilaksanakan.

#### 4.8.2.5. Arus Kas Tahunan

Arus kas bernilai positif pada tahun ke 9, ini membuktikan bahwa pada balik modal terjadi pada tahun ke 8 hingga ke 9 sesuai dengan analisa kelayakan keuangan sebesar 8,8 tahun.

Arus kas tahunan			
Tahun	Sebelum pajak	Setelah pajak	Kumulatif
#	IDR	IDR	IDR
0	-12.406.002....	-12.406.002....	-12.406.002....
1	1.111.824.348	1.116.068.230	-11.289.934....
2	1.209.669.024	1.187.850.732	-10.102.083....
3	1.309.684.514	1.261.140.085	-8.840.943.8...
4	1.411.919.988	1.335.851.595	-7.505.092.2...
5	1.516.425.754	1.411.889.882	-6.093.202.3...
6	1.623.253.287	1.489.147.318	-4.604.055.0...
7	1.732.455.254	1.567.502.271	-3.036.552.8...
8	1.844.085.542	1.646.817.151	-1.389.735.6...
9	1.958.199.290	1.726.936.234	337.200.578
10	2.074.852.913	1.807.683.215	2.144.883.794
11	2.194.104.139	1.888.858.491	4.033.742.285
12	2.316.012.036	1.970.236.107	6.003.978.392
13	2.440.637.045	2.051.560.347	8.055.538.739
14	2.568.041.012	2.132.541.922	10.188.080.6...
15	2.698.287.221	2.212.853.698	12.400.934.3...
16	6.214.229.759	5.674.915.245	18.075.849.6...
17	6.350.356.235	5.793.323.651	23.869.173.2...
18	6.489.523.787	5.914.674.296	29.783.847.5...
19	6.631.801.806	6.039.019.368	35.822.866.9...
20	6.777.261.300	6.166.413.026	41.989.279.9...
21	6.925.974.935	6.296.911.405	48.286.191.3...
22	7.078.017.073	6.430.572.631	54.716.763.9...
23	7.233.463.813	6.567.456.833	61.284.220.8...
24	7.392.393.032	6.707.626.160	67.991.846.9...
25	7.554.884.427	7.834.372.181	75.826.219.1...

Gambar 4. 41 Arus kas Tahunan



Gambar 4. 42 Grafik Arus Las Kumulatif

#### 4.9 Layout Terminal Petikemas Surabaya

Pembuatan desain Layout dan penempatan *Solar Panel Roof* mengacu pada lokasi PT. Terminal Petikemas Surabaya (Gambar 4.43) yang selanjutnya dispesifikasi lagi pada lokasi *Contaner Yard* Blok B, C, D, dan E (Gambar 4.44).



Gambar 4. 43 Lokasi PT. Teriminal Petikemas Surabaya  
(Sumber: *bing.com/maps*)





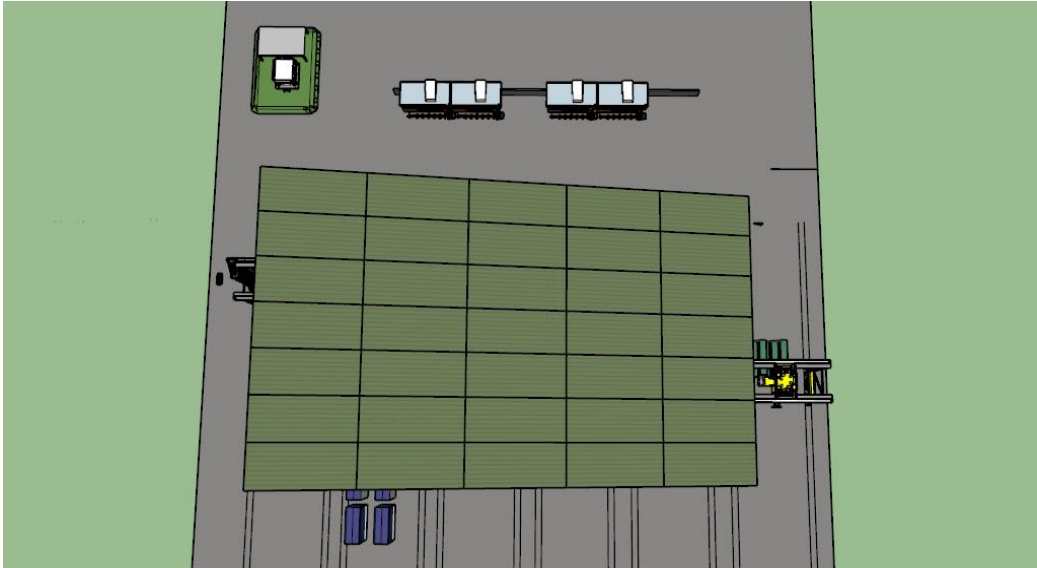
Gambar 4. 44 Lokasi Blok Reefer Container B, C, D, dan E  
(Sumber: [bing.com/maps](http://bing.com/maps))



Gambar 4. 45 Layout Keseluruhan Tampak Samping

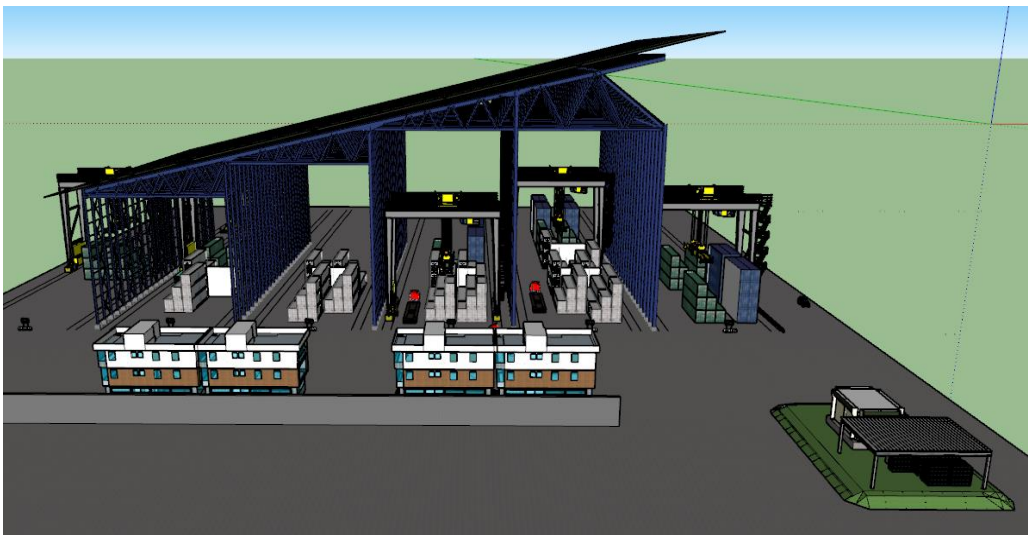
Gambar 4.45 merupakan gambar layout keseluruhan yang sudah terapkan *solar panel roof*. *Solar panel roof* menutupi keseluruhan blok B, C, D, dan E yang merupakan *reefer container yard*. Gambar 4.46 adalah layout keseluruhan tampak atas yang dapat terlihat solar collector area dengan panjang 155 m dan lebar 91 m, jadi total keseluruhan solar collector area sebesar 14.105 m<sup>2</sup>





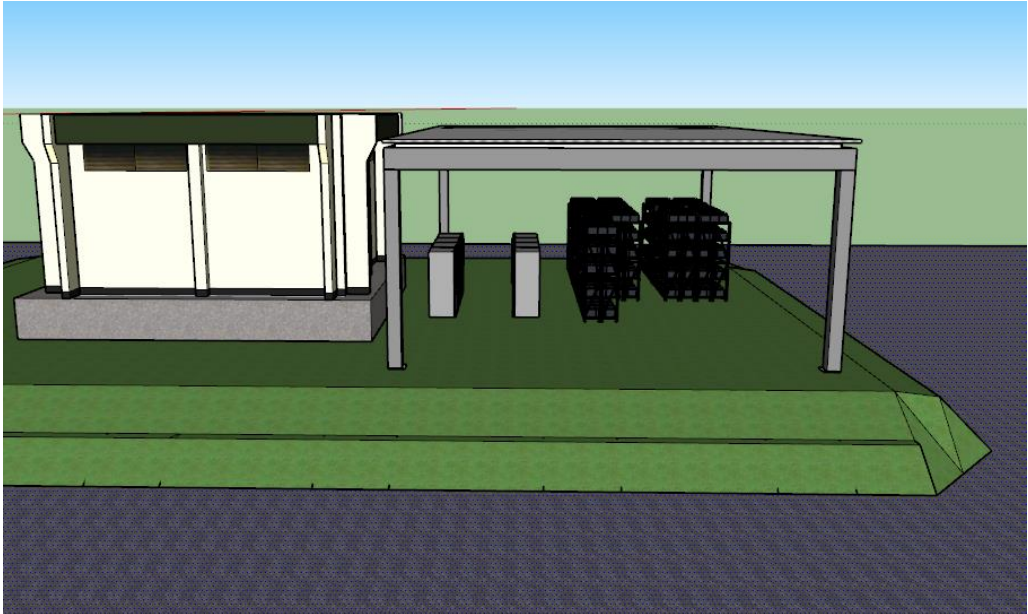
Gambar 4. 46 Layout Keseluruhan Tampak Atas

Pada gambar 4.47 *solar panel roof* memiliki 5 kolom memanjang yang memiliki jarak antar pilar sebesar 33,5 m. Kita juga dapat melihat tinggi antar kolom berbeda-beda dan lebih tinggi mengarah ke depan, ini dikarenakan *solar panel roof* memiliki kemiringan atap sebesar  $12^\circ$  dengan tinggi pilar terpendek adalah 30 m dan tertinggi 42 m.



Gambar 4. 47 Layout Solar Panel Roof Tampak Samping

Gambar 4.48 merupakan panel distribusi listrik dari solar panel menuju inverter ataupun baterai menuju inverter lalu dihubungkan MSB, jaringan PLN yang dihubungkan juga menuju ke MSB. Penempatan 8 Inverter dan 45 Bank baterai yang sudah disusun kedalam rak.



Gambar 4. 48 Distribusi Panel Listrik, Inverter dan Baterai

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan data yang diperoleh dan analisa yang dilakukan pada penelitian ini maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Desain *solar panel roof* memiliki panjang 135,2 meter, lebar 85,13 meter, tinggi tiang terendah 30 meter, dan luas atap (*solar collector area*) sebesar 14.105 meter<sup>2</sup>. *Solar panel roof* memiliki kemiringan atap sebesar 12° untuk memaksimalkan sinar matahari yang masuk ke modul solar panel. Dengan dimensi yang didesain, struktur atap dan kolom *solar panel roof* sudah memenuhi persyaratan kekuatan tekan, kelangsingan, dan lendutan.
2. Sebanyak 4480 modul solar yang terinstal dengan efisiensi setiap modul 16% dan losses lainnya sebesar 11,5% selama 1 tahun dihasilkan energi sebesar 2.610.807 kWh dengan biaya yang dihemat sebesar Rp. 3.276.563.067. Sistem *Hybrid* merupakan sistem yang paling reliable diterapkan pada ketiga kondisi beban (LC, NC, dan FC) pada sistem manajemen energi. Performance ratio yang dihasilkan dari sistem solar panel sebesar 88,5% sedangkan sistem solar panel dapat dikatakan layak jika memiliki nilai Performance Ratio di 70% - 90%. Pengurangan emisi gas rumah kaca yang berkurang akibat instalasi sistem solar panel sebesar 1970 tCO<sub>2</sub> nilai tersebut juga setara dengan 846.496,6 liter bensin yang tidak dikonsumsi. Penghematan energi yang didapat akibat instalasi *solar panel roof* adalah sebesar 32,60% dengan penghematan 1 *reefer container* Rp. 112.822 untuk kondisi froze reefer container dan Rp. 158.288 untuk kondisi chilled reefer container.
3. Proyek *solar panel roof* yang memiliki IRR sebelum pajak ekuitas dan asset sebesar 15% dan 5,8% dengan payback period selama 8,8 tahun, B-C ratio sebesar 1,5 dan NPV sebesar Rp. 6.051.836.951 dapat dikatakan layak dijalankan dikarenakan semua ketentuan memiliki nilai yang positif.

#### 5.2 Saran

Berdasarkan hasil analisa data dan perbandingan dengan penelitian sebelumnya, terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan sehingga menjadi bahan evaluasi agar kedepannya terdapat perbaikan dan penelitian yang lebih dalam. Beberapa hal yang perlu diperhatikan antara lain:

1. Analisa performa modul solar panel dilaksanakan secara real sehingga dapat diketahui secara pasti keluaran energi yang dihasilkan pada proyek *solar panel roof* ini.
2. Dilakukan simulasi percobaan penghematan energi akibat instalasi roof dalam skala laboratorium, sehingga nilai penghematan dapat divalidasi.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

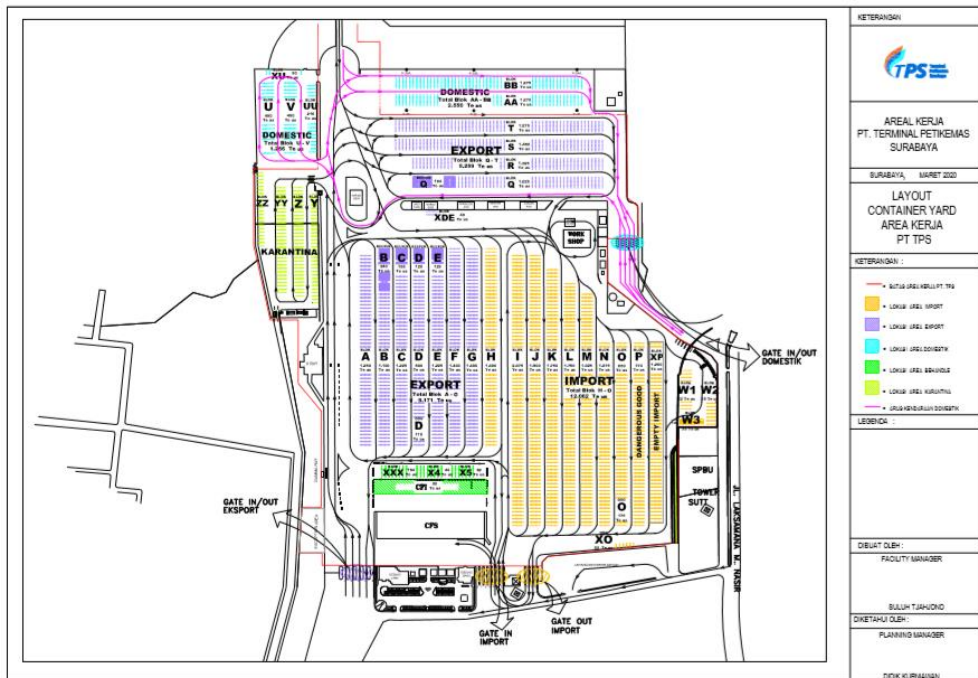
## DAFTAR PUSTAKA

- Badan Kebijakan Fiskal, Kementerian Keuangan Indonesia. (2015). *Laporan Hasil Kajian Opsi Kebijakan Fiskal Untuk Sektor Energi Dalam Mendukung Pembangunan Berkelanjutan Indonesia*. Jakarta: Kementerian Keuangan Republik Indonesia.
- Alibaba. (n.d.). *Indonesia Alibaba*. Retrieved from <https://indonesian.alibaba.com/>
- APL. (n.d.). *apl*. Retrieved from <https://www.apl.com/>
- Bakirci, K. (2012). General Models for Optimum Tilt Angles of Solar Panels: Turkey Case Study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews Vol.16 No. 8*, 2149-6159.
- Berta Logistic. (n.d.). *Berta*. Retrieved from Berta: <https://berta.co.id/>
- Budiyanto, M. A. (2016). *Energy Saving Of Reefer Container By Installation Of Roof Shade*. Fukuoka: Kyushu University.
- Darussalam, R., Rajani, A., Kusnadi, K., & Atmaja, T. D. (2016). Pengaturan Arah Azimuth dan Sudut Tilt Panel Photovoltaic Untuk Optimalisasi Radiasi Matahari, Studi Kasus: Bandung, Jawa Barat. *PROSIDING SEMINAR NASIONAL FISIKA*.
- Dimyatie, R. W. (2015). *Technical Study of Energy Management on Reefer Container Yard With Implementing Photovoltaic As Renewable Energy*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Duffie, J. A., & Beckmann, W. A. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- ESMAP. (2017). *Solar Resource and Photovoltaic Potential of Indonesia*. Washington DC: World Bank Group.
- Fall Bulletin. (2014). Energy Consumption and Efficiency: Emerging Challenges From Reefer Trade In South American Container Terminals. *Facilitation of Transport and Trade in Latin America and Caribbean Issue No. 329*.
- Filina, L., & Sergiy, F. (2008). An Analysis Of Influence Of Lack Of The Electricity Supply To Reefer Containers Serviced At Sea Ports On Storing Conditions Of Cargoes Contained In Them. *Polish Maritime Research Vol. 15:Issue 4*.
- Hamdani, D., & Subagiada, K. (2011). Analisis Kinerja Solar Photovoltaic System (SPS) Berdasarkan Tinjauan Energi dan Eksergi. *Jurnal Material dan Energi Indonesia*.
- Hanna, P. (2012). *Analisis Keekonomian Kompleks Perumahan Berbasis Energi Surya (Studi Kasus: Perumahan Cyber Orchid Town House, Depok)*. Depok: Universitas Indonesia.
- Isdawimah, Sudibyoy, U. B., & Setiawan, E. A. (2010). Analisis Kinerja Pembangkit Listrik Energi Terbarukan Pada Model Jaringan Listrik Mikro Arus Searah. *JURNAL POLI-TEKNOLOGI*.
- Isinki, M. M. (n.d.). *guides*. Retrieved from <https://guides.co/>
- Kaddoura, T. O., Ramli, M. A., & Al-Turki, A. Y. (2016). On the estimation of the optimum tilt angle of PV panel in Saudi Arabia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews Vol. 65*, 626-634.
- Rohmana, R. A., Nugroho, G., & Budiono, C. (2016). Analisa Performansi dan Monitoring Solar Photovoltaic System (SPS) Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Tuban Jawa Timur. *Jurnal Teknik POMITS*.

- Rowbotham, M. (2014). *Introduction To Marine Cargo Management*. New York: Informa Law.
- The World Bank. (n.d.). *World Development Indicator*. Retrieved from databank: <https://databank.worldbank.org/>
- Togan, P. (2009). Perencanaan Sistem Penyimpanan Energi dengan Menggunakan Battery pada Pembangkit. *Jurnal Teknik POMITS*.
- UNCTAD. (2019). *Review Of Maritime Transport*. New York: United Nations Publications.
- UN-ENCLAC. (2015). *Towards Benchmarking Energy Consumption in Container Terminals*. Hochschule Bremen: Natural Resources and Infrastructure Division, ECLAC.
- USAID. (2016). *Pembiayaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya*. Depok: Otoritas Jasa Keuangan.
- Van Duin, J. (., Geerlings, H., & Tavasszy, L. (2019). Factors Causing Peak Energy Consumption Of Reefers At Container Terminals. *Journal of Shipping and Trade*.
- Yang, D. (2016). Solar radiation on inclined surfaces : Corrections and benchmarks. *Solar Energy*, Vol 136, 288-302.

## LAMPIRAN

### Lampiran 1 Layout Terminal Petikemas Surabaya



### Lampiran 2 Spesifikasi Daikin Reefer Container

## Daikin - New 40ft Reefer Container



#### Model

Daikin LXE10E

#### Cool air flow direction (Evaporator)

Bottom air discharge

#### Cooling capacity (60Hz)

Inside temp. 2C 10.000W

Ambient temp. 38C

Inside temp. -18C 5.900W

Ambient temp. 38C

#### Heating capacity (60Hz)

Inside temp. 16C 5.900W

Ambient temp. -20C

#### Air flow rate (Evaporator)(50/60Hz)

High (ESP=12.7mmH2O) 96.3m3/min

Low (ESP=3.2mmH2O) 48.2m3/min

**Fresh air intake (EPS=12.7mmH<sub>2</sub>O, 60Hz)**0-250m<sup>3</sup>/h**Power supply (50/60Hz)**

Standard unit (single power supply) 3-phase,  
380,400,415VAC/440,460VAC

**Control circuit voltage**

13VAC, 24VAC

**Max. power consumption**

13,5kW

**Refrigerant**

Type R134a  
Charged amount 4.7kg

**Inside temperature range**

-30~30C (-22~86F)

**Compressor**

Type Hermetic Scroll Compressor  
Lubricant oil Type Daphne hermetic oil FCV46D  
Charged amount 3.4L

**Air Cooled condensor type**

Cross Finned Coil

**Fan motor**

Condensor Type Propeller  
Output 670W  
Evaporator Type Propeller  
Output 400W/60W x 2  
Controller Type DECOS III f

**Automatic PTI**

Full, Short, and Customized PTI

**Refrigerant control**

Electronic expansion valve

**Ambient temperature range**

-30~50C (-22~122F)

**Defrost**

Heat source Hot gas  
Initiation Timer or on-demand and manual  
Termination By temperature of evaporator outlet sensor  
or timer

**Protective devices**

Protection thermostat (compressor, fan, motor) fuse,  
circuit breaker, high pressure switch, fusible safety plug.

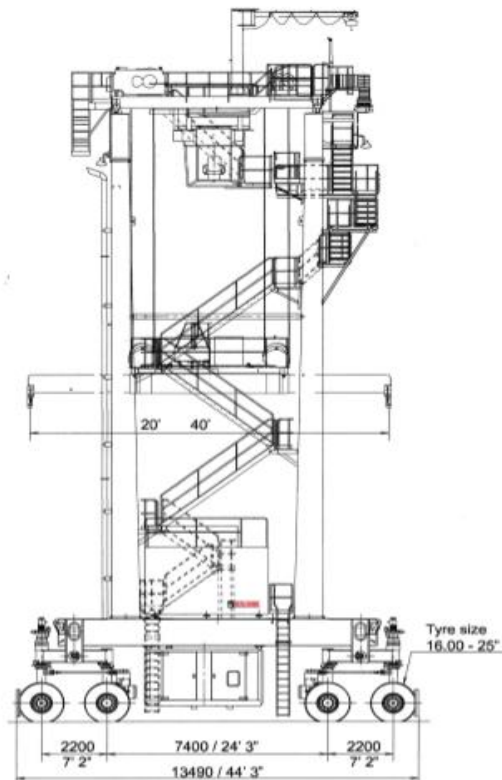
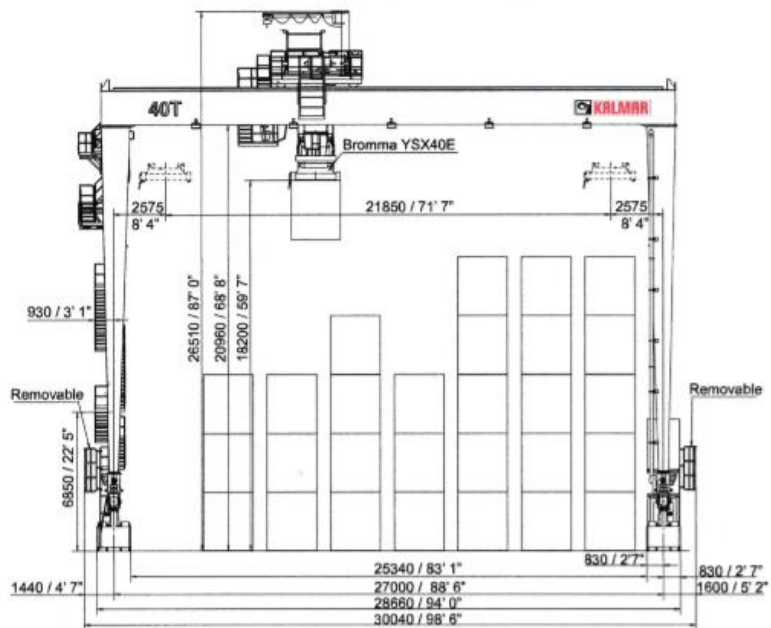
**Dimensions**

Height 2.234 mm  
Width 2.025 mm  
Depth 415 mm



## Lampiran 3 Dimensi Crane

Dimensional drawing



## Lampiran 4 Volume Reefer Container dan Penghematan Roof

<b>TANGGAL</b>	<b>REEFER</b>	<b>( WITH ROOF) Energy Consumption/day (kWh/d)</b>	<b>(WITHOUT ROOF) Energy Consumption/day (kWh/d)</b>	<b>Penghematan (kW)</b>	<b>Penghematan (IDR)</b>
01-Januari-2019	514	12336,00	296064,00	295550,00	Rp 370.915.250
02-Januari-2019	493	11832,00	283968,00	283475,00	Rp 355.761.125
03-Januari-2019	326	7824,00	187776,00	187450,00	Rp 235.249.750
04-Januari-2019	304	7296,00	175104,00	174800,00	Rp 219.374.000
05-Januari-2019	187	4488,00	107712,00	107525,00	Rp 134.943.875
06-Januari-2019	209	5016,00	120384,00	120175,00	Rp 150.819.625
07-Januari-2019	180	4320,00	103680,00	103500,00	Rp 129.892.500
08-Januari-2019	107	2568,00	61632,00	61525,00	Rp 77.213.875
09-Januari-2019	122	2928,00	70272,00	70150,00	Rp 88.038.250
10-Januari-2019	110	2640,00	63360,00	63250,00	Rp 79.378.750
11-Januari-2019	62	1488,00	35712,00	35650,00	Rp 44.740.750
12-Januari-2019	102	2448,00	58752,00	58650,00	Rp 73.605.750
13-Januari-2019	144	3456,00	82944,00	82800,00	Rp 103.914.000
14-Januari-2019	136	3264,00	78336,00	78200,00	Rp 98.141.000
15-Januari-2019	53	1272,00	30528,00	30475,00	Rp 38.246.125
16-Januari-2019	80	1920,00	46080,00	46000,00	Rp 57.730.000
17-Januari-2019	103	2472,00	59328,00	59225,00	Rp 74.327.375

18-Januari-2019	84	2016,00	48384,00	48300,00	Rp 60.616.500
19-Januari-2019	125	3000,00	72000,00	71875,00	Rp 90.203.125
20-Januari-2019	161	3864,00	92736,00	92575,00	Rp 116.181.625
21-Januari-2019	228	5472,00	131328,00	131100,00	Rp 164.530.500
22-Januari-2019	148	3552,00	85248,00	85100,00	Rp 106.800.500
23-Januari-2019	117	2808,00	67392,00	67275,00	Rp 84.430.125
24-Januari-2019	104	2496,00	59904,00	59800,00	Rp 75.049.000
25-Januari-2019	223	5352,00	128448,00	128225,00	Rp 160.922.375
26-Januari-2019	222	5328,00	127872,00	127650,00	Rp 160.200.750
27-Januari-2019	211	5064,00	121536,00	121325,00	Rp 152.262.875
28-Januari-2019	233	5592,00	134208,00	133975,00	Rp 168.138.625
29-Januari-2019	115	2760,00	66240,00	66125,00	Rp 82.986.875
30-Januari-2019	131	3144,00	75456,00	75325,00	Rp 94.532.875
31-Januari-2019	108	2592,00	62208,00	62100,00	Rp 77.935.500
01-Februari-2019	112	2688,00	64512,00	64400,00	Rp 80.822.000
02-Februari-2019	136	3264,00	78336,00	78200,00	Rp 98.141.000
03-Februari-2019	136	3264,00	78336,00	78200,00	Rp 98.141.000
04-Februari-2019	119	2856,00	68544,00	68425,00	Rp 85.873.375

05- Februari- 2019	105	2520,00	60480,00	60375,00	Rp 75.770.625
06- Februari- 2019	106	2544,00	61056,00	60950,00	Rp 76.492.250
07- Februari- 2019	98	2352,00	56448,00	56350,00	Rp 70.719.250
08- Februari- 2019	92	2208,00	52992,00	52900,00	Rp 66.389.500
09- Februari- 2019	134	3216,00	77184,00	77050,00	Rp 96.697.750
10- Februari- 2019	173	4152,00	99648,00	99475,00	Rp 124.841.125
11- Februari- 2019	145	3480,00	83520,00	83375,00	Rp 104.635.625
12- Februari- 2019	48	1152,00	27648,00	27600,00	Rp 34.638.000
13- Februari- 2019	65	1560,00	37440,00	37375,00	Rp 46.905.625
14- Februari- 2019	66	1584,00	38016,00	37950,00	Rp 47.627.250
15- Februari- 2019	76	1824,00	43776,00	43700,00	Rp 54.843.500
16- Februari- 2019	150	3600,00	86400,00	86250,00	Rp 108.243.750
17- Februari- 2019	164	3936,00	94464,00	94300,00	Rp 118.346.500
18- Februari- 2019	115	2760,00	66240,00	66125,00	Rp 82.986.875

19- Februari- 2019	57	1368,00	32832,00	32775,00	Rp 41.132.625
20- Februari- 2019	92	2208,00	52992,00	52900,00	Rp 66.389.500
21- Februari- 2019	82	1968,00	47232,00	47150,00	Rp 59.173.250
22- Februari- 2019	60	1440,00	34560,00	34500,00	Rp 43.297.500
23- Februari- 2019	132	3168,00	76032,00	75900,00	Rp 95.254.500
24- Februari- 2019	171	4104,00	98496,00	98325,00	Rp 123.397.875
25- Februari- 2019	136	3264,00	78336,00	78200,00	Rp 98.141.000
26- Februari- 2019	67	1608,00	38592,00	38525,00	Rp 48.348.875
27- Februari- 2019	65	1560,00	37440,00	37375,00	Rp 46.905.625
28- Februari- 2019	109	2616,00	62784,00	62675,00	Rp 78.657.125
01-Maret- 2019	112	2688,00	64512,00	64400,00	Rp 80.822.000
02-Maret- 2019	138	3312,00	79488,00	79350,00	Rp 99.584.250
03-Maret- 2019	182	4368,00	104832,00	104650,00	Rp 131.335.750
04-Maret- 2019	104	2496,00	59904,00	59800,00	Rp 75.049.000
05-Maret- 2019	71	1704,00	40896,00	40825,00	Rp 51.235.375
06-Maret- 2019	87	2088,00	50112,00	50025,00	Rp 62.781.375

07-Maret-2019	101	2424,00	58176,00	58075,00	Rp 72.884.125
08-Maret-2019	70	1680,00	40320,00	40250,00	Rp 50.513.750
09-Maret-2019	117	2808,00	67392,00	67275,00	Rp 84.430.125
10-Maret-2019	167	4008,00	96192,00	96025,00	Rp 120.511.375
11-Maret-2019	126	3024,00	72576,00	72450,00	Rp 90.924.750
12-Maret-2019	90	2160,00	51840,00	51750,00	Rp 64.946.250
13-Maret-2019	99	2376,00	57024,00	56925,00	Rp 71.440.875
14-Maret-2019	150	3600,00	86400,00	86250,00	Rp 108.243.750
15-Maret-2019	89	2136,00	51264,00	51175,00	Rp 64.224.625
16-Maret-2019	172	4128,00	99072,00	98900,00	Rp 124.119.500
17-Maret-2019	213	5112,00	122688,00	122475,00	Rp 153.706.125
18-Maret-2019	149	3576,00	85824,00	85675,00	Rp 107.522.125
19-Maret-2019	139	3336,00	80064,00	79925,00	Rp 100.305.875
20-Maret-2019	92	2208,00	52992,00	52900,00	Rp 66.389.500
21-Maret-2019	132	3168,00	76032,00	75900,00	Rp 95.254.500
22-Maret-2019	75	1800,00	43200,00	43125,00	Rp 54.121.875
23-Maret-2019	127	3048,00	73152,00	73025,00	Rp 91.646.375
24-Maret-2019	249	5976,00	143424,00	143175,00	Rp 179.684.625
25-Maret-2019	198	4752,00	114048,00	113850,00	Rp 142.881.750
26-Maret-2019	75	1800,00	43200,00	43125,00	Rp 54.121.875
27-Maret-2019	79	1896,00	45504,00	45425,00	Rp 57.008.375

28-Maret-2019	131	3144,00	75456,00	75325,00	Rp 94.532.875
29-Maret-2019	106	2544,00	61056,00	60950,00	Rp 76.492.250
30-Maret-2019	131	3144,00	75456,00	75325,00	Rp 94.532.875
31-Maret-2019	175	4200,00	100800,00	100625,00	Rp 126.284.375
01-April-2019	151	3624,00	86976,00	86825,00	Rp 108.965.375
02-April-2019	107	2568,00	61632,00	61525,00	Rp 77.213.875
03-April-2019	107	2568,00	61632,00	61525,00	Rp 77.213.875
04-April-2019	116	2784,00	66816,00	66700,00	Rp 83.708.500
05-April-2019	139	3336,00	80064,00	79925,00	Rp 100.305.875
06-April-2019	130	3120,00	74880,00	74750,00	Rp 93.811.250
07-April-2019	97	2328,00	55872,00	55775,00	Rp 69.997.625
08-April-2019	143	3432,00	82368,00	82225,00	Rp 103.192.375
09-April-2019	80	1920,00	46080,00	46000,00	Rp 57.730.000
10-April-2019	121	2904,00	69696,00	69575,00	Rp 87.316.625
11-April-2019	198	4752,00	114048,00	113850,00	Rp 142.881.750
12-April-2019	120	2880,00	69120,00	69000,00	Rp 86.595.000
13-April-2019	131	3144,00	75456,00	75325,00	Rp 94.532.875
14-April-2019	119	2856,00	68544,00	68425,00	Rp 85.873.375
15-April-2019	95	2280,00	54720,00	54625,00	Rp 68.554.375
16-April-2019	73	1752,00	42048,00	41975,00	Rp 52.678.625
17-April-2019	74	1776,00	42624,00	42550,00	Rp 53.400.250

18-April-2019	68	1632,00	39168,00	39100,00	Rp 49.070.500
19-April-2019	111	2664,00	63936,00	63825,00	Rp 80.100.375
20-April-2019	165	3960,00	95040,00	94875,00	Rp 119.068.125
21-April-2019	162	3888,00	93312,00	93150,00	Rp 116.903.250
22-April-2019	279	6696,00	160704,00	160425,00	Rp 201.333.375
23-April-2019	150	3600,00	86400,00	86250,00	Rp 108.243.750
24-April-2019	184	4416,00	105984,00	105800,00	Rp 132.779.000
25-April-2019	190	4560,00	109440,00	109250,00	Rp 137.108.750
26-April-2019	195	4680,00	112320,00	112125,00	Rp 140.716.875
27-April-2019	162	3888,00	93312,00	93150,00	Rp 116.903.250
28-April-2019	194	4656,00	111744,00	111550,00	Rp 139.995.250
29-April-2019	171	4104,00	98496,00	98325,00	Rp 123.397.875
30-April-2019	136	3264,00	78336,00	78200,00	Rp 98.141.000
01-Mei-2019	216	5184,00	124416,00	124200,00	Rp 155.871.000
02-Mei-2019	261	6264,00	150336,00	150075,00	Rp 188.344.125
03-Mei-2019	256	6144,00	147456,00	147200,00	Rp 184.736.000
04-Mei-2019	270	6480,00	155520,00	155250,00	Rp 194.838.750
05-Mei-2019	268	6432,00	154368,00	154100,00	Rp 193.395.500
06-Mei-2019	285	6840,00	164160,00	163875,00	Rp 205.663.125
07-Mei-2019	252	6048,00	145152,00	144900,00	Rp 181.849.500
08-Mei-2019	211	5064,00	121536,00	121325,00	Rp 152.262.875



09-Mei-2019	168	4032,00	96768,00	96600,00	Rp 121.233.000
10-Mei-2019	122	2928,00	70272,00	70150,00	Rp 88.038.250
11-Mei-2019	252	6048,00	145152,00	144900,00	Rp 181.849.500
12-Mei-2019	322	7728,00	185472,00	185150,00	Rp 232.363.250
13-Mei-2019	326	7824,00	187776,00	187450,00	Rp 235.249.750
14-Mei-2019	326	7824,00	187776,00	187450,00	Rp 235.249.750
15-Mei-2019	227	5448,00	130752,00	130525,00	Rp 163.808.875
16-Mei-2019	223	5352,00	128448,00	128225,00	Rp 160.922.375
17-Mei-2019	171	4104,00	98496,00	98325,00	Rp 123.397.875
18-Mei-2019	293	7032,00	168768,00	168475,00	Rp 211.436.125
19-Mei-2019	292	7008,00	168192,00	167900,00	Rp 210.714.500
20-Mei-2020	271	6504,00	156096,00	155825,00	Rp 195.560.375
21-Mei-2021	225	5400,00	129600,00	129375,00	Rp 162.365.625
22-Mei-2021	191	4584,00	110016,00	109825,00	Rp 137.830.375
23-Mei-2021	225	5400,00	129600,00	129375,00	Rp 162.365.625
24-Mei-2021	129	3096,00	74304,00	74175,00	Rp 93.089.625
25-Mei-2021	178	4272,00	102528,00	102350,00	Rp 128.449.250
26-Mei-2021	213	5112,00	122688,00	122475,00	Rp 153.706.125
27-Mei-2021	162	3888,00	93312,00	93150,00	Rp 116.903.250
28-Mei-2021	48	1152,00	27648,00	27600,00	Rp 34.638.000
29-Mei-2021	117	2808,00	67392,00	67275,00	Rp 84.430.125

30-Mei-2021	150	3600,00	86400,00	86250,00	Rp 108.243.750
31-Mei-2022	120	2880,00	69120,00	69000,00	Rp 86.595.000
01-Juni-2019	65	1560,00	37440,00	37375,00	Rp 46.905.625
02-Juni-2019	12	288,00	6912,00	6900,00	Rp 8.659.500
03-Juni-2019	12	288,00	6912,00	6900,00	Rp 8.659.500
04-Juni-2019	16	384,00	9216,00	9200,00	Rp 11.546.000
05-Juni-2019	16	384,00	9216,00	9200,00	Rp 11.546.000
06-Juni-2019	16	384,00	9216,00	9200,00	Rp 11.546.000
07-Juni-2019	16	384,00	9216,00	9200,00	Rp 11.546.000
08-Juni-2019	20	480,00	11520,00	11500,00	Rp 14.432.500
09-Juni-2019	59	1416,00	33984,00	33925,00	Rp 42.575.875
10-Juni-2019	81	1944,00	46656,00	46575,00	Rp 58.451.625
11-Juni-2019	59	1416,00	33984,00	33925,00	Rp 42.575.875
12-Juni-2019	58	1392,00	33408,00	33350,00	Rp 41.854.250
13-Juni-2019	130	3120,00	74880,00	74750,00	Rp 93.811.250
14-Juni-2019	164	3936,00	94464,00	94300,00	Rp 118.346.500
15-Juni-2019	281	6744,00	161856,00	161575,00	Rp 202.776.625
16-Juni-2019	329	7896,00	189504,00	189175,00	Rp 237.414.625
17-Juni-2019	249	5976,00	143424,00	143175,00	Rp 179.684.625
18-Juni-2019	109	2616,00	62784,00	62675,00	Rp 78.657.125
19-Juni-2019	142	3408,00	81792,00	81650,00	Rp 102.470.750

20-Juni-2019	172	4128,00	99072,00	98900,00	Rp 124.119.500
21-Juni-2019	227	5448,00	130752,00	130525,00	Rp 163.808.875
22-Juni-2019	236	5664,00	135936,00	135700,00	Rp 170.303.500
23-Juni-2019	267	6408,00	153792,00	153525,00	Rp 192.673.875
24-Juni-2019	167	4008,00	96192,00	96025,00	Rp 120.511.375
25-Juni-2019	124	2976,00	71424,00	71300,00	Rp 89.481.500
26-Juni-2019	146	3504,00	84096,00	83950,00	Rp 105.357.250
27-Juni-2019	115	2760,00	66240,00	66125,00	Rp 82.986.875
28-Juni-2019	167	4008,00	96192,00	96025,00	Rp 120.511.375
29-Juni-2019	224	5376,00	129024,00	128800,00	Rp 161.644.000
30-Juni-2019	144	3456,00	82944,00	82800,00	Rp 103.914.000
01 July 2019	47	1128,00	27072,00	27025,00	Rp 33.916.375
02 July 2019	18	432,00	10368,00	10350,00	Rp 12.989.250
03 July 2019	71	1704,00	40896,00	40825,00	Rp 51.235.375
04 July 2019	88	2112,00	50688,00	50600,00	Rp 63.503.000
05 July 2019	42	1008,00	24192,00	24150,00	Rp 30.308.250
06 July 2019	92	2208,00	52992,00	52900,00	Rp 66.389.500
07 July 2019	69	1656,00	39744,00	39675,00	Rp 49.792.125
08 July 2019	80	1920,00	46080,00	46000,00	Rp 57.730.000
09 July 2019	11	264,00	6336,00	6325,00	Rp 7.937.875
10 July 2019	70	1680,00	40320,00	40250,00	Rp 50.513.750

11 July 2019	77	1848,00	44352,00	44275,00	Rp 55.565.125
12 July 2019	31	744,00	17856,00	17825,00	Rp 22.370.375
13 July 2019	71	1704,00	40896,00	40825,00	Rp 51.235.375
14 July 2019	72	1728,00	41472,00	41400,00	Rp 51.957.000
15 July 2019	81	1944,00	46656,00	46575,00	Rp 58.451.625
16 July 2019	12	288,00	6912,00	6900,00	Rp 8.659.500
17 July 2019	58	1392,00	33408,00	33350,00	Rp 41.854.250
18 July 2019	65	1560,00	37440,00	37375,00	Rp 46.905.625
19 July 2019	94	2256,00	54144,00	54050,00	Rp 67.832.750
20 July 2019	77	1848,00	44352,00	44275,00	Rp 55.565.125
21 July 2019	74	1776,00	42624,00	42550,00	Rp 53.400.250
22 July 2019	79	1896,00	45504,00	45425,00	Rp 57.008.375
23 July 2019	13	312,00	7488,00	7475,00	Rp 9.381.125
24 July 2019	62	1488,00	35712,00	35650,00	Rp 44.740.750
25 July 2019	36	864,00	20736,00	20700,00	Rp 25.978.500
26 July 2019	46	1104,00	26496,00	26450,00	Rp 33.194.750
27 July 2019	69	1656,00	39744,00	39675,00	Rp 49.792.125
28 July 2019	89	2136,00	51264,00	51175,00	Rp 64.224.625
29 July 2019	72	1728,00	41472,00	41400,00	Rp 51.957.000
30 July 2019	23	552,00	13248,00	13225,00	Rp 16.597.375
31 July 2019	97	2328,00	55872,00	55775,00	Rp 69.997.625

01 August 2019	65	1560,00	37440,00	37375,00	Rp 46.905.625
02 August 2019	63	1512,00	36288,00	36225,00	Rp 45.462.375
03 August 2019	79	1896,00	45504,00	45425,00	Rp 57.008.375
04 August 2019	50	1200,00	28800,00	28750,00	Rp 36.081.250
05 August 2019	64	1536,00	36864,00	36800,00	Rp 46.184.000
06 August 2019	6	144,00	3456,00	3450,00	Rp 4.329.750
07 August 2019	61	1464,00	35136,00	35075,00	Rp 44.019.125
08 August 2019	42	1008,00	24192,00	24150,00	Rp 30.308.250
09 August 2019	55	1320,00	31680,00	31625,00	Rp 39.689.375
10 August 2019	77	1848,00	44352,00	44275,00	Rp 55.565.125
11 August 2019	55	1320,00	31680,00	31625,00	Rp 39.689.375
12 August 2019	26	624,00	14976,00	14950,00	Rp 18.762.250
13 August 2019	27	648,00	15552,00	15525,00	Rp 19.483.875
14 August 2019	142	3408,00	81792,00	81650,00	Rp 102.470.750
15 August 2019	98	2352,00	56448,00	56350,00	Rp 70.719.250
16 August 2019	39	936,00	22464,00	22425,00	Rp 28.143.375
17 August 2019	70	1680,00	40320,00	40250,00	Rp 50.513.750
18 August 2019	30	720,00	17280,00	17250,00	Rp 21.648.750
19 August 2019	66	1584,00	38016,00	37950,00	Rp 47.627.250
20 August 2019	9	216,00	5184,00	5175,00	Rp 6.494.625
21 August 2019	41	984,00	23616,00	23575,00	Rp 29.586.625

22 August 2019	23	552,00	13248,00	13225,00	Rp 16.597.375
23 August 2019	45	1080,00	25920,00	25875,00	Rp 32.473.125
24 August 2019	66	1584,00	38016,00	37950,00	Rp 47.627.250
25 August 2019	82	1968,00	47232,00	47150,00	Rp 59.173.250
26 August 2019	77	1848,00	44352,00	44275,00	Rp 55.565.125
27 August 2019	16	384,00	9216,00	9200,00	Rp 11.546.000
28 August 2019	73	1752,00	42048,00	41975,00	Rp 52.678.625
29 August 2019	53	1272,00	30528,00	30475,00	Rp 38.246.125
30 August 2019	76	1824,00	43776,00	43700,00	Rp 54.843.500
31 August 2019	108	2592,00	62208,00	62100,00	Rp 77.935.500
01 September 2019	85	2040,00	48960,00	48875,00	Rp 61.338.125
02 September 2019	80	1920,00	46080,00	46000,00	Rp 57.730.000
03 September 2019	11	264,00	6336,00	6325,00	Rp 7.937.875
04 September 2019	58	1392,00	33408,00	33350,00	Rp 41.854.250
05 September 2019	40	960,00	23040,00	23000,00	Rp 28.865.000
06 September 2019	46	1104,00	26496,00	26450,00	Rp 33.194.750
07 September 2019	74	1776,00	42624,00	42550,00	Rp 53.400.250

08 September 2019	66	1584,00	38016,00	37950,00	Rp 47.627.250
09 September 2019	74	1776,00	42624,00	42550,00	Rp 53.400.250
10 September 2019	22	528,00	12672,00	12650,00	Rp 15.875.750
11 September 2019	82	1968,00	47232,00	47150,00	Rp 59.173.250
12 September 2019	52	1248,00	29952,00	29900,00	Rp 37.524.500
13 September 2019	67	1608,00	38592,00	38525,00	Rp 48.348.875
14 September 2019	71	1704,00	40896,00	40825,00	Rp 51.235.375
15 September 2019	42	1008,00	24192,00	24150,00	Rp 30.308.250
16 September 2019	41	984,00	23616,00	23575,00	Rp 29.586.625
17 September 2019	20	480,00	11520,00	11500,00	Rp 14.432.500
18 September 2019	59	1416,00	33984,00	33925,00	Rp 42.575.875
19 September 2019	42	1008,00	24192,00	24150,00	Rp 30.308.250
20 September 2019	44	1056,00	25344,00	25300,00	Rp 31.751.500
21 September 2019	65	1560,00	37440,00	37375,00	Rp 46.905.625

22 September 2019	60	1440,00	34560,00	34500,00	Rp 43.297.500
23 September 2019	57	1368,00	32832,00	32775,00	Rp 41.132.625
24 September 2019	25	600,00	14400,00	14375,00	Rp 18.040.625
25 September 2019	81	1944,00	46656,00	46575,00	Rp 58.451.625
26 September 2019	81	1944,00	46656,00	46575,00	Rp 58.451.625
27 September 2019	59	1416,00	33984,00	33925,00	Rp 42.575.875
28 September 2019	108	2592,00	62208,00	62100,00	Rp 77.935.500
29 September 2019	72	1728,00	41472,00	41400,00	Rp 51.957.000
30 September 2019	103	2472,00	59328,00	59225,00	Rp 74.327.375
01 October 2019	35	840,00	20160,00	20125,00	Rp 25.256.875
02 October 2019	71	1704,00	40896,00	40825,00	Rp 51.235.375
03 October 2019	58	1392,00	33408,00	33350,00	Rp 41.854.250
04 October 2019	97	2328,00	55872,00	55775,00	Rp 69.997.625
05 October 2019	83	1992,00	47808,00	47725,00	Rp 59.894.875
06 October 2019	87	2088,00	50112,00	50025,00	Rp 62.781.375
07 October 2019	98	2352,00	56448,00	56350,00	Rp 70.719.250
08 October 2019	27	648,00	15552,00	15525,00	Rp 19.483.875



09 October 2019	11	264,00	6336,00	6325,00	Rp 7.937.875
10 October 2019	59	1416,00	33984,00	33925,00	Rp 42.575.875
11 October 2019	75	1800,00	43200,00	43125,00	Rp 54.121.875
12 October 2019	90	2160,00	51840,00	51750,00	Rp 64.946.250
13 October 2019	85	2040,00	48960,00	48875,00	Rp 61.338.125
14 October 2019	76	1824,00	43776,00	43700,00	Rp 54.843.500
15 October 2019	32	768,00	18432,00	18400,00	Rp 23.092.000
16 October 2019	64	1536,00	36864,00	36800,00	Rp 46.184.000
17 October 2019	93	2232,00	53568,00	53475,00	Rp 67.111.125
18 October 2019	52	1248,00	29952,00	29900,00	Rp 37.524.500
19 October 2019	55	1320,00	31680,00	31625,00	Rp 39.689.375
20 October 2019	88	2112,00	50688,00	50600,00	Rp 63.503.000
21 October 2019	100	2400,00	57600,00	57500,00	Rp 72.162.500
22 October 2019	49	1176,00	28224,00	28175,00	Rp 35.359.625
23 October 2019	55	1320,00	31680,00	31625,00	Rp 39.689.375
24 October 2019	63	1512,00	36288,00	36225,00	Rp 45.462.375
25 October 2019	30	720,00	17280,00	17250,00	Rp 21.648.750
26 October 2019	111	2664,00	63936,00	63825,00	Rp 80.100.375
27 October 2019	75	1800,00	43200,00	43125,00	Rp 54.121.875
28 October 2019	61	1464,00	35136,00	35075,00	Rp 44.019.125
29 October 2019	19	456,00	10944,00	10925,00	Rp 13.710.875

30 October 2019	65	1560,00	37440,00	37375,00	Rp 46.905.625
31 October 2019	72	1728,00	41472,00	41400,00	Rp 51.957.000
01 November 2019	66	1584,00	38016,00	37950,00	Rp 47.627.250
02 November 2019	102	2448,00	58752,00	58650,00	Rp 73.605.750
03 November 2019	108	2592,00	62208,00	62100,00	Rp 77.935.500
04 November 2019	70	1680,00	40320,00	40250,00	Rp 50.513.750
05 November 2019	77	1848,00	44352,00	44275,00	Rp 55.565.125
06 November 2019	66	1584,00	38016,00	37950,00	Rp 47.627.250
07 November 2019	56	1344,00	32256,00	32200,00	Rp 40.411.000
08 November 2019	40	960,00	23040,00	23000,00	Rp 28.865.000
09 November 2019	97	2328,00	55872,00	55775,00	Rp 69.997.625
10 November 2019	99	2376,00	57024,00	56925,00	Rp 71.440.875
11 November 2019	81	1944,00	46656,00	46575,00	Rp 58.451.625
12 November 2019	22	528,00	12672,00	12650,00	Rp 15.875.750
13 November 2019	65	1560,00	37440,00	37375,00	Rp 46.905.625

14 November 2019	119	2856,00	68544,00	68425,00	Rp 85.873.375
15 November 2019	43	1032,00	24768,00	24725,00	Rp 31.029.875
16 November 2019	101	2424,00	58176,00	58075,00	Rp 72.884.125
17 November 2019	128	3072,00	73728,00	73600,00	Rp 92.368.000
18 November 2019	119	2856,00	68544,00	68425,00	Rp 85.873.375
19 November 2019	29	696,00	16704,00	16675,00	Rp 20.927.125
20 November 2019	51	1224,00	29376,00	29325,00	Rp 36.802.875
21 November 2019	60	1440,00	34560,00	34500,00	Rp 43.297.500
22 November 2019	83	1992,00	47808,00	47725,00	Rp 59.894.875
23 November 2019	93	2232,00	53568,00	53475,00	Rp 67.111.125
24 November 2019	124	2976,00	71424,00	71300,00	Rp 89.481.500
25 November 2019	111	2664,00	63936,00	63825,00	Rp 80.100.375
26 November 2019	29	696,00	16704,00	16675,00	Rp 20.927.125
27 November 2019	64	1536,00	36864,00	36800,00	Rp 46.184.000

28 November 2019	56	1344,00	32256,00	32200,00	Rp 40.411.000
29 November 2019	90	2160,00	51840,00	51750,00	Rp 64.946.250
30 November 2019	125	3000,00	72000,00	71875,00	Rp 90.203.125
01 December 2019	139	3336,00	80064,00	79925,00	Rp 100.305.875
02 December 2019	125	3000,00	72000,00	71875,00	Rp 90.203.125
03 December 2019	40	960,00	23040,00	23000,00	Rp 28.865.000
04 December 2019	111	2664,00	63936,00	63825,00	Rp 80.100.375
05 December 2019	123	2952,00	70848,00	70725,00	Rp 88.759.875
06 December 2019	82	1968,00	47232,00	47150,00	Rp 59.173.250
07 December 2019	89	2136,00	51264,00	51175,00	Rp 64.224.625
08 December 2019	117	2808,00	67392,00	67275,00	Rp 84.430.125
09 December 2019	120	2880,00	69120,00	69000,00	Rp 86.595.000
10 December 2019	67	1608,00	38592,00	38525,00	Rp 48.348.875
11 December 2019	81	1944,00	46656,00	46575,00	Rp 58.451.625

12 December 2019	89	2136,00	51264,00	51175,00	Rp 64.224.625
13 December 2019	61	1464,00	35136,00	35075,00	Rp 44.019.125
14 December 2019	111	2664,00	63936,00	63825,00	Rp 80.100.375
15 December 2019	131	3144,00	75456,00	75325,00	Rp 94.532.875
16 December 2019	124	2976,00	71424,00	71300,00	Rp 89.481.500
17 December 2019	83	1992,00	47808,00	47725,00	Rp 59.894.875
18 December 2019	81	1944,00	46656,00	46575,00	Rp 58.451.625
19 December 2019	155	3720,00	89280,00	89125,00	Rp 111.851.875
20 December 2019	195	4680,00	112320,00	112125,00	Rp 140.716.875
21 December 2019	135	3240,00	77760,00	77625,00	Rp 97.419.375
22 December 2019	145	3480,00	83520,00	83375,00	Rp 104.635.625
23 December 2019	116	2784,00	66816,00	66700,00	Rp 83.708.500
24 December 2019	136	3264,00	78336,00	78200,00	Rp 98.141.000
25 December 2019	89	2136,00	51264,00	51175,00	Rp 64.224.625

26 December 2019	114	2736,00	65664,00	65550,00	Rp 82.265.250
27 December 2019	59	1416,00	33984,00	33925,00	Rp 42.575.875
28 December 2019	110	2640,00	63360,00	63250,00	Rp 79.378.750
29 December 2019	144	3456,00	82944,00	82800,00	Rp 103.914.000
30 December 2019	124	2976,00	71424,00	71300,00	Rp 89.481.500
31 December 2019	61	1464,00	35136,00	35075,00	Rp 44.019.125
Total				2109793,14	Rp 2.647.790.396

## Lampiran 5 Spesifikasi Inverter

### Technical Specification:

Items	SPI250K-A	SPI500K-A
DC Input		
Max. PV Power (kW)	280	560
Max. PV Input Voltage (Vdc)	1000	
Max. PV Input Current (A)	600	1200
PV Input String Number	4	8
No. of MPPTs	1	1
MPPT Voltage Range (Vdc)	460~850	
Start up Voltage (Vdc)	480	
MPPT Efficiency	99.90%	
AC Output		
Nominal AC Output Power (kW)	250	500
Max. Output Power (kW)	275	550
Max. Output current (A)	418	836
Nominal AC Voltage (Vac)	380	
Nominal Grid Frequency (Hz)	50/60	
Power Factor (nominal power)	>0.99	
Power Factor Adjustable Range	0.9 (leading)~0.9 (lagging)	
THDi	<3% (nominal power)	
Isolation Type	High efficient transformer	
Efficiency		
Max. Efficiency	>97.80%	
European Efficiency	>97.30%	
Others		
AC Side Parallel Technology	Yes	
PID Repair	Yes	
Fault Wave Record Diagnosis	Yes	
Online Upgrade	Yes	
System Data		
Dimensions (WxHxD) (mm)	1000x2000x800	1400x2000x1000
Weight (kg)	1500	2200
IP Grade	IP20	
Night Consumption	<20W	
Cooling	Intelligent forced air cooling	
Altitude	6000m (>3000m derating)	
Operating Temperature Range (°C)	-35~60	
Operating Humidity	0~95% (non-condensation)	
Display	LCD Touch Screen	
Communication	RS485, Ethernet (optional)	

## Lampiran 6 Waranty Moudl Surya



Grape Solar Limited Warranty

www.GrapeSolar.com

**GRAPE SOLAR LIMITED WARRANTY FOR PV MODULES**

The following modules are covered under this warranty:

Grape Solar P/N

- CS-X-*nnn*-DJ series, whereas "X" is "S" or "P", and "*nnn*" is number from 175 to 280;
- GS-S-*nnn*-SF series, whereas "*nnn*" is number 175, 180, and 185;
- GS-S-*nnn*-CS series, whereas "*nnn*" is number 230 and 240;
- GS-P-*nnn*-OR series, whereas "*nnn*" is number 210, 215 and 220;
- GS-X-*nnn*-EUG series, whereas "X" is "S" or "P", and "*nnn*" is number from 175 to 280;
- GS-X-*nnn*-Fab1 series, whereas "X" is "S" or "P", and "*nnn*" is number from 210 to 300;
- GS-S-*nnn*-Fab3 series, whereas "*nnn*" is number from 175 to 255;
- GS-S-*nnn*-Fab36 series, whereas "*nnn*" is number from 100 to 295;
- GS-X-*nnn*-Fab5 series, whereas "X" is "S" or "P", and "*nnn*" is number from 210 to 280;
- GS-S-*nnn*-Fab8 series, whereas "*nnn*" is number from 105 to 250;
- GS-P-*nnn*-PDX series, whereas "*nnn*" is number 220, 225, 230 and 235;
- GS-S-*nnn*-TS series, whereas "*nnn*" is number 385 and 390;
- GS-STAR-*nnn*W series, whereas "*nnn*" is number 100 and 240;
- GS-S-*nnn*-Platinum series, whereas "*nnn*" is number 395, 400, 405 and 410.

**1 Limited Product Warranty – Ten (10) Year Repair, Replacement or Refund Remedy**

Grape Solar Corporation with offices at 1305 S. Bertelsen Road, Eugene, OR 97402 ("Grape Solar") warrants that for ten (10) years from the date of delivery, its Photovoltaic modules ("PV modules") shall be free from defects in materials and workmanship under normal application, installation, use and service conditions. If the PV modules fail to conform to this warranty, then for a period ending ten (10) years from date of delivery to the original end-customer ("the Customer"), Grape Solar will, at its option, either repair or replace the product, or refund the purchase price as paid by the Customer ("Purchase Price"). The repair, replacement or refund remedy shall be the sole and exclusive remedy provided under the Limited Product Warranty and shall not extend beyond the ten (10) year period set forth herein. This Limited Product Warranty does not warrant a specific power output, which shall be exclusively covered under Limited Power Warranty.

**2 Limited Power Warranty**

a) If, within ten (10) years from date of purchase to the Customer any PV module(s) exhibits a power output less than 90% of the Minimum Peak Power as specified at the date of purchase in Grape Solar's Product datasheet, provided that such loss in power is determined by Grape Solar (at its sole and absolute discretion) to be due to defects in material or workmanship Grape Solar will replace such loss in power by either providing to the Customer additional PV modules to make up such loss in power or by providing monetary compensation equivalent to the cost of additional PV modules required to make up such loss in power or by repairing or replacing the defective PV modules.

b) If, within twenty five (25) years from date of purchase to the Customer any PV module(s) exhibits a power output less than 80% of the Minimum Peak Power as specified at the date of purchase in Grape Solar's Product datasheet, provided that such loss in power is determined by Grape Solar (at its sole and absolute discretion) to be due to defects in material or workmanship Grape Solar will replace such loss in power by either providing to the Customer additional PV modules to make up such loss in power or by providing monetary compensation equivalent to the cost of additional PV modules required to make up such loss in power or by repairing or replacing the defective PV modules

©Copyright 2010, Grape Solar, Inc. All Rights Reserved

1305 S Bertlesen Rd.  
Eugene, OR 97402 USA

Rev 140403



## Lampiran 7 Spesifikasi Baterai

**LEONICS®** SOLARCON SCM-series MPPT Charge Controller

Wall Mount/Tower Model	SCM-1202S	SCM-1207S	SCM-12010S	SCM-12014S	SCM-2402S	SCM-2407S	SCM-24010S	SCM-24014S	SCM-3602S	SCM-3607S	SCM-36010S	SCM-36014S	SCM-4801S	SCM-4802S	SCM-4803S
Rack Mount Model	SCM-12030RM	SCM-12035RM	SCM-12035RM		SCM-24030RM	SCM-24035RM	SCM-24035RM	SCM-24035RM							
INPUT (Configuration of PV in series within these voltage range)															
V <sub>mp</sub> of PV*	85 - 110 Vdc				170 - 220 Vdc				255 - 330 Vdc				340 - 440 Vdc		
Tracking voltage range	48 - 110 Vdc				96 - 220 Vdc				144 - 330 Vdc				192 - 440 Vdc		
V <sub>oc</sub> of PV*	< 135Vdc				< 276 Vdc				< 414 Vdc				< 552 Vdc		
Maximum current	35 A	70 A	105 A	140 A	35 A	70 A	105 A	140 A	200 A	300 A	400 A	150 A	200 A	300 A	300 A
Maximum PV power**	3.4 kWp	6.88 kWp	10.3 kWp	13.7 kWp	6.88 kWp	13.7 kWp	20.6 kWp	27.5 kWp	61.95 kWp	91 kWp	124 kWp	60.6 kWp	82.6 kWp	121.1 kWp	
OUTPUT (at 25°C)															
Nominal battery voltage	120 Vdc				240 Vdc				360 Vdc				480 Vdc		
Boost charging voltage	130.0 - 150.0 Vdc				260.0 - 300.0 Vdc				390.0 - 450.0 Vdc				520.0 - 600.0 Vdc		
Float charging voltage	120.0 - 140.0 Vdc				240.0 - 280.0 Vdc				360.0 - 420.0 Vdc				480.0 - 560.0 Vdc		
Low voltage alarm	100.0 - 120.0 Vdc				200.0 - 240.0 Vdc				300.0 - 360.0 Vdc				400.0 - 480.0 Vdc		
Low voltage cut off (signal)	88.0 - 118.0 Vdc				196.0 - 236.0 Vdc				297.0 - 357.0 Vdc				396.0 - 476.0 Vdc		
Reconnect voltage (signal)	115.0 - 135.0 Vdc				230.0 - 270.0 Vdc				345.0 - 405.0 Vdc				460.0 - 540.0 Vdc		
BATTERY															
Type	Deep cycle lead acid (LA)														
EFFICIENCY	> 98%														
Charger peak efficiency	> 98%														
PROTECTION															
Protection	PV transient voltage surge, High battery voltage, Low battery voltage, Over temperature, Over charging														
Alarm	Battery reverse polarity														
INDICATOR															
LED	Battery level, PV voltage level, Operation status, Alarm														
LCD	Digital meter, 180 days power and event logger														
COMMUNICATION INTERFACE															
RS-232	DB-9 connector														
RS-485	Operate with RS-485 adaptor (option)														
Dry contact signal	Charger fail and low battery voltage disconnected														
SYSTEM															
Control	Automatic cooling fan, Maximum Power Point Tracking (MPPT)														
Temp. compensation range	-5 to 7 mV / cell / Celsius (option)														
OPERATING CONDITION															
Temperature	0 - 45°C														
Relative humidity	0 - 95% (non-condensing)														
DESIGN REGULATION															
Standard	IEC 61683, AS/NZS 3100:2009														
DIMENSION (W x H x D) (approximate in cm.)															
Wall mount case	42 x 53 x 24		50 x 64 x 26.6		42 x 53 x 24		50 x 64 x 26.6								
Rack mount case	48.2 x 22.2 x 64.5 (5U)		48.2 x 22.2 x 64.5 (5U)		48.2 x 22.2 x 64.5 (5U)		48.2 x 28.2 x 64.5 (6U)								
lowest case											60 x 210 x 100				60 x 210 x 100
WEIGHT (approximate in kg.)															
Wall mount case	24	27	40	48	23	30	34	38	-	-	-	-	-	-	-
Rack mount case	25	28	41	-	24	31	37	40	-	-	-	-	-	-	-
lowest case	-	-	-	-	-	-	-	-	361	414	467	400	419	460	-

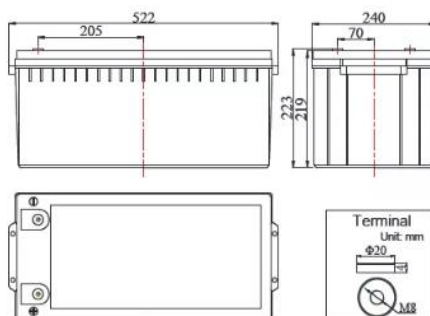
\*The V<sub>mp</sub> and V<sub>oc</sub> used for configuration must be considered with temperature coefficient affected by environment at each install location. \*\*For operation of charge controller at ambient temperature < 25°C. The peak PV power must be derated 15% when charge controller operates at ambient temperature over than 25°C. Continuous product development is our commitment. In that manner, the above specifications may be changed without prior notice.

## Lampiran 8 Spesifikasi Baterai

Nominal Voltage		12V(6 cells per unit)
Design Floating Life @25°C		12 Years
Nominal Capacity @25°C (10 hour rate@20.00A,10.80V)		200Ah
Capacity @25°C	20 hour rate (10.70A,10.5V)	214.0Ah
	5 hour rate (35.2A,10.5V)	176.0Ah
	1 hour rate (127.6A,9.6V)	127.6Ah
Internal Resistance	Full Charged Battery@25°C	≤3.9mΩ
Ambient Temperature	Discharge	-30°C~60°C
	Charge	-30°C~60°C
	Storage	-30°C~60°C
Max.Discharge Current@25°C		2000A(5s)
Capacity affected by Temperature (10 hr Capacity )	40°C	108%
	25°C	100%
	0°C	90%
	-15°C	70%
Self-Discharge@25°C per Month		3%
Charge (Constant Voltage) @25°C	Standby Use	Initial Charging Current Less than 40A Voltage 13.6-13.8V
	Cycle Use	Initial Charging Current Less than 40A Voltage 14.4-14.9V

## DIMENSIONS &amp; WEIGHT

Length(mm)	522±1
Width(mm)	240±1
Height(mm)	219±1
Total Height(mm)	223±1
Weight(kg)	58.5±3%



## Lampiran 9 Circuit Breaker Schneider

		NS100 to NS250			NS400 to NS630				NS630 to NS1000			NS1000 to NS2500	
													
Breaker Type		N	H	L	N	H	L	H-DC	N	H	L	N	H
Number of poles		2,3,4	2,3,4	2,3,4	3,4	3,4	3,4	3	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4
Current Range		15-250	15-250	15-250	40-630	40-630	150-630	400-600	630-1,000	630-1,000	630-1,000	1,000-3,200	1,000-3,200
Interrupting Ratings													
IEC 947-2 (but also IEC 60144)	220/240 Vac	65/65	100/100	150/150	65/65	100/100	150/150	---	50/50	70/70	150/150	65/65	125/125
	380/415 Vac	25/25	70/70	150/150	45/45	70/70	150/150	---	50/50	70/70	150/150	70/70	65/65
	440 Vac	25/25	65/65	130/130	40/40	65/65	130/130	---	50/50	65/65	130/130	65/65	65/65
	500 Vac	15/15	50/50	100/100	35/35	50/50	70/70	---	40/40	50/50	100/100	65/65	---
	525 Vac	15/15	35/35	100/100	25/25	35/35	50/50	---	40/40	50/50	100/100	65/65	---
	690/690 Vdc	60	10/10	75/75	15/15	20/20	35/35	---	30/22	40/21	25/25	65/65	---
DC Ratings	250 Vdc	30	10	50	---	---	---	85	---	---	---	---	---
	500 Vdc	50	50	50	---	---	---	85	---	---	---	---	---
Special Ratings													
Fast, Speed W.C. (30/30) GEN		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
HNCR		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Connections/Terminations													
Unit Mount		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
I-Line		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Rear Connection		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	---	---	---	---	---
Drawout		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	---	---	✓	---	---
Accessories and Modifications													
Shunt Trip		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Undervoltage Trip		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Auxiliary Switches		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Alarm Switch		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Motor Operator		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	---	---	✓	---	---
Handle Operators		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	---	---	✓	---	---
Mechanical Interlocks		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	---	---	---	---	---
Optional GF Protection		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	---	---	✓	✓	✓
Trip-System Types													
Thermal Magnetic		✓	✓	✓	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Instantaneous Trip (2-pole)		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Molded Case Switch		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Electronic		✓	✓	✓	---	---	---	---	---	---	✓	✓	✓
Dimensions (5-pole Unit Mount)	Height in. (mm)	6.3 (161)			10 (254)				12.3 (313)			15 (381)	
	Width in. (mm)	4.1 (103)			5.5 (140)				6.3 (160)			10.5 (267)	
	Depth in. (mm)	3.4 (86)			4.3 (110)				5.3 (135)			6.0 (152)	

Note: All circuit breakers on this chart are UL listed and CSA certified unless otherwise noted.

✓ Feature available

• See Product Data Bulletin No. 6500P090215/57

## Lampiran 10 Rincian Biaya Solar Panel Roof

Pekerjaan Persiapan							
No.	Uraian Pekerjaan	Satuan	Qty	Harga Satuan		Jumlah Harga	
1.	Pekerjaan Direksi Keet dan Gudang	m <sup>2</sup>	60	Rp	950.000	Rp	57.000.000
2.	Air Kerja dan Listrik Kerja	Bln	4	Rp	1.500.000	Rp	6.000.000
3.	Mobilitas peralatan dan pekerja	Ls	1	Rp	50.000.000	Rp	50.000.000
4.	Keselamatan Kerja dan Rambu	Ls	1	Rp	5.000.000	Rp	5.000.000
Total Pekerjaan Persiapan						<b>Rp</b>	<b>118.000.000</b>

Pekerjaan Galian dan Pondasi							
No.	Uraian Pekerjaan	Satuan	Qty	Harga Satuan		Jumlah Harga	
1.	Galian Tanah dan Beton Terminal sedalam 1 m	m <sup>3</sup>	131,04	Rp	65.000	Rp	8.517.600
2.	Buang Tanah sejauh ± 20 m	m <sup>3</sup>	78,62	Rp	50.000	Rp	3.931.200
3.	Urug kembali tanah galian	m <sup>3</sup>	52,42	Rp	25.000	Rp	1.310.400
4.	Urug pasir	m <sup>3</sup>	9,36	Rp	250.000	Rp	2.340.000
5.	Lantai kerja beton tumbuk Pilecap P1	m <sup>2</sup>	9,36	Rp	43.000	Rp	402.480
6.	Beton Readymix K-300	m <sup>3</sup>	39,33	Rp	880.000	Rp	34.606.000
7.	Bekisting Pondasi Tulang Besi U-24	m <sup>2</sup>	156,00	Rp	250.000	Rp	39.000.000
8.	Diameter 10 mm	kg	833,73	Rp	11.500	Rp	9.587.933
Total Pekerjaan Persiapan						<b>Rp</b>	<b>99.695.613</b>

Pekerjaan Tie Beam							
No.	Uraian Pekerjaan	Satuan	Qty	Harga Satuan		Jumlah Harga	
1.	Galian Tanah dan Beton	m <sup>3</sup>	188,4	Rp	65.000	Rp	12.246.000
2.	Buang Tanah sejauh ± 20 m	m <sup>3</sup>	75,36	Rp	50.000	Rp	3.768.000
3.	Urug kembali tanah galian	m <sup>3</sup>	113,04	Rp	25.000	Rp	2.826.000
4.	Urug pasir	m <sup>3</sup>	24,375	Rp	250.000	Rp	6.093.750
5.	Lantai kerja beton tumbuk Tie Beam	m <sup>2</sup>	487,5	Rp	43.000	Rp	20.962.500
6.	Beton Readymix K-300	m <sup>3</sup>	156	Rp	880.000	Rp	137.280.000
7.	Bekisting Pondasi Tulang Besi U-24	m <sup>2</sup>	1560	Rp	250.000	Rp	390.000.000
8.	Diameter 12 mm	kg	10432,5	Rp	11.500	Rp	119.973.750
Total Pekerjaan Persiapan						<b>Rp</b>	<b>693.150.000</b>

Pekerjaan Struktur Baja							
No.	Uraian Pekerjaan	Satuan	Qty	Harga Satuan		Jumlah Harga	
1.	Kolom WF 400.400.20.35	kg	144687,5	Rp	15.900	Rp	2.300.531.727
2.	Rangka Kuda IWF 294x200x8x13	kg	213652,4	Rp	15.500	Rp	3.311.612.200
3.	Rangka Kuda WF 150X75X5X7	kg	2464	Rp	15.500	Rp	38.192.000
4.	Penguat R. Kolom WF 150X75X5X7	kg	48216	Rp	15.500	Rp	747.348.000
5.	Gording C 150.50.50.4,5	kg	11761,4	Rp	6.750	Rp	79.389.450
6.	Trekstang Besi Ø 12	kg	465,714	Rp	18.500	Rp	8.615.709
7.	Ikatan angin Besi Ø 16	kg	430	Rp	29.653	Rp	12.750.790
8.	Besi siku L 40x40x4	kg	3810,24	Rp	8.200	Rp	31.243.968
9.	Baud Ø 12	bh	16784,18	Rp	6.000	Rp	100.705.080
10.	Base Plate t.16 mm	kg	7524,8	Rp	24.500	Rp	184.357.600
11.	Angker Baud Ø 16 p.600 mm	kg	4647,9	Rp	24.500	Rp	113.873.550
11.	Stiffener t.10 mm	kg	19684,1	Rp	29.653	Rp	583.692.617
12.	Cat meni Besi	kg	474128,3	Rp	3.000	Rp	1.422.384.792
Total Pekerjaan Persiapan						<b>Rp</b>	<b>17.869.394.967</b>
Pekerjaan Atap							
1.	Atap Zinkalum Spandex 0,35 mm	m <sup>2</sup>	12040	Rp	78.500	Rp	945.140.000
2.	Talang Air Galvalum 0,35 mr	m	87	Rp	71.000	Rp	6.177.000
Total Pekerjaan Persiapan						<b>Rp</b>	<b>951.317.000</b>

## BIODATA PENULIS



Penulis mempunyai nama lengkap Nikolas Arta Kurnia Dekko, dan akrab dipanggil dengan nama Dekko, dilahirkan di Kota Jakarta pada tanggal 10 April 1998. Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis telah menyelesaikan jenjang pendidikan formal di SD Santa Ursula BSD (2004-2010), SMP Vianney Jakarta Barat (2010-2013), SMA Vianney Jakarta Barat (2013-2016). Penulis melanjutkan pendidikan tinggi di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan bidang studi *Marine Machinery and System* (MMS) dengan NRP. 04211640000054. Penulis pernah menjalani Kerja Praktek di perusahaan PT. Daya Radar Utama (DRU) Jakarta untuk mempelajari proses pembuatan kapal, PT. IPC untuk mempelajari proses perawatan mesin bongkat muat pelabuhan, dan PT. IPC Marine untuk mempelajari proses administrasi kapal, sertifikat kapal dan perawatan yang dibutuhkan kapal selama hidupnya. Selama masa perkuliahan, penulis aktif dan berpengalaman dalam berbagai organisasi serta kepanitiaan. Penulis pernah menjadi Staf Seksi Kemanan Perizinan 3C *Catholic Community Cup* 2017, Koordinator Seksi Acara 3C *Catholic Community Cup* 2018 KMK ITS, Staf Departemen *Kominfo* KMK ITS 2017/2018, Staff Seksi *Eco Solar Boat Marine Icon*, Ketua Panitia KMK *Leadership Training* 2019, Wakil Ketua KMK ITS 2018/2019, Kordinator Assiten Laboratorium *Marine Machinery System* (MMS). Selain kegiatan kepanitiaan ada beberapa pelatihan yang penulis ikuti semasa perkuliahan yaitu *Character Building* HIMASISKAL, LMMM Pra TD, LKMM TD, dan Quantum Leap 2019.

**Nikolas Arta Kurnia Dekko**  
04211640000054  
nikolasdekk@gmail.com